PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 9 — 1. Mai 1938 — Redaktionsschluß für Nr. 11 am 15. Mai 1938 — 39. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

J. Kluge und H. E. Linckh, Messung des Anlaufmomentes von Asynchronmotoren durch ein neues elektrostatisches Meßverfahren. S. 367.

A. Kußmann und H. Nitka, Magnetische und röntgenographische Untersuchungen an Nickel-Platin-Legierungen. S. 373.

F. Hund, Eine Übersicht über die elektromagnetischen Einheiten. S. 376.

A. Riedinger, Dipolmoment und freie Drehbarkeit. S. 380.

E. Thieme, Über die Einwirkung von Ultraschallwellen auf Lösungen hochpolymerer Substanzen. S. 384.

Besprechungen:

L. Bergmann, Schwingende Kristalle und ihre Anwendung in der Hochfrequenz und Ultraschalltechnik. S. 390.

Düsing-Schäfer, Lehrbuch der Experimental-Physik für technische Lehranstalten. S. 391.

Vorlesungsverzeichnis für das Sommerhalbjahr 1938. S. 391.

Nachrichten. S. 398.

ABHANDLUNGEN

Messung des Anlaufmomentes von Asynchronmotoren durch ein neues elektrostatisches Meßverfahren

Von J. Kluge und H. E. Linckh

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Das Bedürfnis, rasch verlaufende Bewegungsvorgänge genau untersuchen zu können, führte bereits vor mehreren Jahren zu der Entwicklung trägheitsarmer Meßverfahren, denen eine Reihe wertvoller technischer und wissenschaftlicher Erkenntnisse zu verdanken sind. Es sei hier nur als Beispiel an das piezoelektrische Druckmeßverfahren[1]) erinnert, das u. a. für die Indizierung von Verbrennungsmotoren und Preßluftgeräten, für ballistische Druckmessungen, für Dehnungsmessungen und für Beschleunigungsmessungen mit großem Erfolg verwendet werden konnte.

Trotz der großen Zahl von Verfahren, die zur Messung von Bewegungsvorgängen ersonnen wurden, sind aber noch wichtige Aufgaben bisher nicht restlos befriedigend gelöst. Zu diesen schwierigen Aufgabengebieten gehört die Messung der Drehbeschleunigung.

Sieht man von den Verfahren ab, die mit der sehr ungenauen zeichnerischen Differentiation des Weg- oder Geschwindigkeitsverlaufes arbeiten, so sind grundsätzlich zwei Lösungswege eingeschlagen worden:

1. Die elektrische Differentiation des Geschwindigkeitsverlaufes bei dem Verfahren von Ytterberg[1]) und bei dem Verfahren von Lomonosoff[2]), die aber beide wegen der dabei auftretenden starken Oberwellen für die trägheitsarme Aufzeichnung durch Oszillographen nicht brauchbar sind, und
2. die Messung der durch eine mit der zu messenden Beschleunigung umlaufende Hilfsmasse ausgeübten Beschleunigungskraft.

Dieses zweite Meßprinzip bedingt aber, daß der Meßgeber, mit dem die Beschleunigungskraft gemessen wird, ebenfalls mit umläuft. Bei allen Kraftmeßverfahren, bei denen die Zuführung von Strom zum Meßgeber erforderlich ist, stören daher die Übergangswiderstände der Zuführungsschleifringe, die meist nicht genügend unveränderlich sind. Ein elektrostatisches Meßverfahren, wie z. B. das piezoelektrische Verfahren, hat demgegenüber den großen Vorzug, daß die Übergangswiderstände der Zuleitungen zum Geber ganz ohne Bedeutung sind. Es gelang den Verfassern[3]) und später auch Lund[4]),

1) J. Kluge und H. E. Linckh, Piezoelektrische Messungen von Druck- und Beschleunigungskräften. VDI. **73**, 1311, 1929 (Nr. 37).

1) A. Ytterberg, Eine neue Methode zur Bestimmung der Leerlaufverluste einer Maschine. ETZ. **23**, 1158, 1912.

2) G. Keinath, Die Technik elektrischer Meßgeräte, S. 323. Verlag Oldenbourg, München und Berlin 1928.

3) J. Kluge und H. E. Linckh, Piezoelektrische Messung mechanischer Größen. Forschung **2**, 153, 1931 (Nr. 5).

4) H. Lund, Messung ungleichförmiger Drehbewegung mit piezoelektrischen Kristallen. AEG.-Mitteilungen **12**, 64, 1931.

einen piezoelektrischen Drehbeschleunigungsmesser zu bauen, mit dem brauchbare Messungen ausgeführt werden konnten. Durch Anordnung der optischen Achse der Meßquarze in Richtung der auf die Meßquarze wirkenden starken Zentrifugalkräfte konnten die Verfasser erreichen, daß diese zentrifugalen Störkräfte nicht mehr angezeigt wurden. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die mechanische Anordnung und der störungsfreie Einbau der Meßquarze schwierig ist, da die Quarze gegen Verändern ihrer Einspannbedingungen empfindlich sind. Diese Schwierigkeiten vermeidet das im folgenden beschriebene neue elektrostatische Kondensatorverfahren. Es besitzt ebenso wie das piezoelektrische Verfahren den Vorzug, daß es als elektrostatische Meßmethode von den Übergangswiderständen der Zuleitung nicht abhängig ist. Bei der Entwicklung konnte auf Erfahrungen mit dem piezoelektrischen Druckmeßgerät aufgebaut werden. So konnte als Empfänger das für dieses Verfahren entwickelte Röhrenvoltmeter mit Braunscher Röhre oder Schleifoszillograph als Anzeigegerät verwendet werden. Der Unterschied gegenüber dem piezoelektrischen Gerät liegt also in der Art des Gebers, der als Kondensator mit hoher Ladespannung ausgebildet ist und der den zu messenden Bewegungsvorgang in Spannungsänderungen umsetzt, die von dem Röhrenvoltmeter verstärkt werden.

Über die Wirkungsweise des Röhrenvoltmeters ist bereits ausführlich berichtet worden[1]). Als wesentlichstes Merkmal sei nochmals angegeben, daß der Eingangswiderstand am Röhrenvoltmeter so groß ist, daß Spannungsänderungen bei schnell verlaufenden Bewegungsvorgängen verlustfrei gemessen werden können. Bezüglich der Einzelheiten sei auf die früheren Arbeiten über das piezoelektrische Druckmeßverfahren verwiesen.

Grundsätzliche Wirkungsweise des neuen Meßverfahrens

Als Geberkondensator wird ein gut isolierter Kondensator verwendet, der die Kapazität C hat. Er wird so in der Meßvorrichtung eingebaut, daß er den zu messenden Bewegungen verhältnisgleiche Kapazitätsänderungen ΔC erfährt. Wird der Kondensator auf die Gleichspannung U aufgeladen, so gilt bei guter Isolation des Kondensators

$$\Delta U = - U \frac{\Delta C}{C} . \qquad (1)$$

Für einen Plattenkondensator mit einem Plattenabstand h formt sich die Gleichung (1) um in

$$\Delta U = \frac{U}{h} \Delta h . \qquad (2)$$

Hierbei sind Δh die zu messenden Verschiebungen.

Um das Verfahren möglichst empfindlich zu machen, wird man bei gegebener Spannungsempfindlichkeit des Empfängers die Spannung U möglichst groß und h möglichst klein, d. h. den Verhältniswert U/h möglichst groß wählen. Diesem Wert ist jedoch durch die elektrische Festigkeit des verwendeten Dielektrikums im Geber eine obere Grenze gesetzt. Wird z. B. Luft als Dielektrikum verwendet, so bilden die stets vorhandenen Staubteilchen in der Luft bei kleinem Plattenabstand unter der Richtwirkung des elektrischen Feldes leitende Brücken, die zu einem Ladungsausgleich führen.

Dieser Mangel konnte behoben werden durch die Verwendung eines festen Isolierstoffes als Dielektrikum für den Geber, des Kunststoffes Trolitul, der leicht in sehr dünnen Schichten hergestellt werden kann und der bei guter elektrischer Festigkeit derartige Brückenbildungen ausschließt. Er besitzt dabei Isolationseigenschaften, die nahezu die gleichen wie die von Bernstein sind, so daß die oben aufgestellte Forderung für eine gute Isolation des Gebers erfüllt ist.

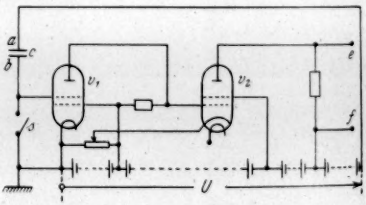


Abb. 1. Schaltung des Geberkondensators und des Röhrenvoltmeters.

c = Geberkondensator. a, b = Zuleitungen des Geberkondensators. s = Erdungsschalter. v_1 = Raumladegitterröhre als hochisolierte Eingangsstufe. v_2 = Schirmgitterröhre als Verstärkerstufe für die Braunsche Röhre. U = Hilfsspannung des Gebers. e, f = Klemmen zum Anschluß der Braunschen Röhre.

Die Schaltung des Geberkondensators c und des Röhrenvoltmeters geht aus der Abb. 1 hervor. Der Geberkondensator c wird vor der Messung durch Schließen des Schalters s auf die Hilfsspannung U aufgeladen, gleichzeitig wird die Eingangsröhre v_1 des Röhrenvoltmeters geerdet. Wird der Schalter wieder geöffnet, so

1) Siehe Fußnote 1, S. 367, linke Spalte.

können die bei dem Meßvorgang auf dem Kondensator c entstehenden Spannungsänderungen ΔU auf das Gitter der Eingangsröhre v_1 gelangen und werden nach Verstärkung durch das Röhrenvoltmeter auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre sichtbar. Die Registrierung des Meßvorganges erfolgt dann in der üblichen Weise durch eine Filmkamera.

Empfindlichkeit und Eigenfrequenz

Um ein Urteil über die Empfindlichkeit zu bekommen, seien für die Größen der Gleichung (2) Zahlenwerte angegeben. Mit dem Röhrenvoltmeter können noch Spannungswerte $\Delta U = 0{,}01$ V sicher bestimmt werden. Sie entsprechen einem Ausschlag auf der Braunschen Röhre von 0,1 bis 0,2 cm. Für eine Spannung $U = 1000$ V und einen Plattenabstand $h = 0{,}01$ cm erhält man daher für den Schwingungsausschlag Δh einen noch meßbaren Wert in der Größenordnung von 10^{-7} cm. Somit ergibt sich eine Vergrößerung von etwa 10^6. Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Geberkapazität groß gegenüber der Kapazität der Zuleitungen und des Röhrenvoltmeters ist, was bei dem oben angegebenen Plattenabstand des Gebers sicher erreicht werden kann.

Zum Vergleich sei eine entsprechende Empfindlichkeitsbetrachtung für das piezoelektrische Druckmeßverfahren angestellt. Wird z. B. ein Quarzwürfel mit den Kantenlängen 1 cm in Richtung einer der elektrischen Achsen, die zugleich eine Würfelachse sei, mit 1 kg belastet, so gibt er bei der kleinsten praktisch erreichbaren Kapazität einschließlich der Zuleitungen und des Röhrenvoltmeters an den Flächen senkrecht zur Druckrichtung eine Potentialdifferenz von etwa 1 V. Infolge des hohen Elastizitätsmoduls (etwa 10^6 kg/cm^2) entspricht dieser Potentialdifferenz von 1 V eine Längenänderung von 10^{-6} cm. Bei der oben erwähnten Empfindlichkeit des Röhrenvoltmeters können also noch Längenänderungen in der Größenordnung von 10^{-8} cm piezoelektrisch gemessen werden. Die Vergrößerung ist also etwa 10^7. Somit entspricht die Empfindlichkeit des neuen Meßverfahrens nahezu derjenigen des piezoelektrischen Meßverfahrens.

In der Abb. 2 ist zunächst als Beispiel für das Meßverfahren ein Beschleunigungsmesser für Vertikalbeschleunigungen dargestellt. Das Gehäuse g enthält den Geberkondensator mit dem Dielektrikum d. Die isolierten Leitungen a und b führen zu den ebenfalls isolierten Platten des Geberkondensators. Die an der Membran o elastisch aufgehängte Masse m nimmt die Beschleunigungen auf und drückt durch ihre Trägheitskraft die Meßplatten des Kondensators zusammen, wodurch der Geberkondensator seine Kapazität verändert.

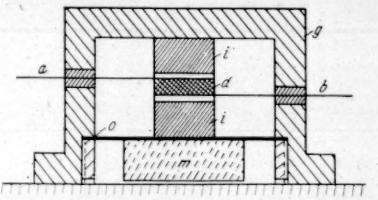


Abb. 2. Beschleunigungsmesser für Vertikalbeschleunigungen.

g = Gehäuse. o = Membran. m = Masse. d = Dielektrikum des Geberkondensators. i = Isolierplatten. a, b = Zuleitungen des Geberkondensators.

Wie bereits an anderer Stelle[1]) eingehend dargestellt ist, muß die Eigenfrequenz n eines Beschleunigungsmessers gegenüber der Frequenz der zu messenden Beschleunigung groß sein. Im vorliegenden Fall ist n im wesentlichen durch die Masse m und die resultierende Steifigkeit c der Membran o und des Dielektrikums d bestimmt. Die Empfindlichkeit des Beschleunigungsmessers läßt sich wie folgt abschätzen. Wirkt auf den Beschleunigungsmesser die Beschleunigung $a = a_0 \sin \omega t$, so führt die Masse m eine Relativbewegung Δh gegen das Gehäuse g aus. Ist ferner ω klein gegen $\omega_0 = 2\pi n$ und wird die Dämpfung nicht mit berücksichtigt, so besteht nach den Gesetzen für erzwungene Schwingungen zwischen der Beschleunigung a und der Relativbewegung Δh die Beziehung

$$\Delta h = \frac{a_0 \sin \omega t}{\omega_0^2} = \frac{a}{4\pi^2 n^2} = \frac{a\,m}{c}. \qquad (3)$$

Nach den obigen Überlegungen gestattet das Verfahren, Verschiebungen von $\Delta h = 10^{-7}$ cm noch sicher zu messen. Danach erhält man aus der Gleichung (3) bei einer Eigenfrequenz von $n = 1000$ Hz als kleinste meßbare Beschleunigung einen Wert von $a = 4$ cm/s^2. Eine größere Empfindlichkeit des Beschleunigungsmessers würde nach der Gleichung (3) eine kleinere Eigenfrequenz zur Folge haben. Die Forderung einer bestimmten Eigenfrequenz legt also den Beschleunigungsmesser hinsichtlich seiner Steifigkeit und Masse konstruktiv fest.

Drehbeschleunigungsmesser

Der Drehbeschleunigungsmesser entstand in enger Anlehnung an den früher von uns angegebenen piezoelektrischen Drehbeschleunigungsmesser. Der Grundaufbau des Drehbeschleuni-

1) Siehe Fußnote 3, S. 367.

gungsmessers geht aus der Abb. 3 hervor. Der Drehbeschleunigungsmesser wird mit dem Flansch f auf die Meßwelle w aufgesetzt. Der aus

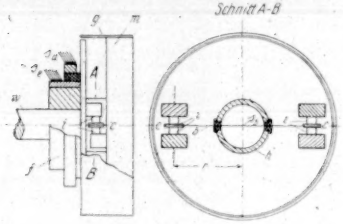


Abb. 3. Drehbeschleunigungsmesser.
m = Schwungscheibe, h = Hohlwelle, f = Flansch, g = Schutzgehäuse, w = Messwelle, c = Geberkondensator, i = Isolierplatten, b = Verbindungsdraht der Kondensatorplatten, s_b = Anschluß des Röhrenvoltmeters, s_g = Schleifring zum Anschluß der Hilfsspannung U, s_e = Erdungsschleifring.

dem Flansch f, der Hohlwelle h und der Schwungscheibe m bestehende Hauptteil ist aus einem Stück gedreht. Die Schwungscheibe nimmt die zu messenden Drehbeschleunigungen auf und verdreht die Hohlwelle gegen den Flansch. Zur Messung dieser elastischen Verdrehung $\Delta\alpha$ der Hohlwelle ist symmetrisch zur Drehachse im Abstand r je ein Geberkondensator c nach Art einer Klauenkupplung eingebaut.

Die Empfindlichkeit des Drehbeschleunigungsmessers ergibt sich aus folgender Überlegung: Wirkt auf den Drehbeschleunigungsmesser eine Drehbeschleunigung $q'' = q_0'' \sin\omega t$, so gilt entsprechend der Gleichung (3) für die elastische Verdrehung der Hohlwelle

$$\Delta\alpha = \frac{q_0'' \sin\omega t}{-\omega_0^2} = \frac{q''}{4\pi^2 n^2}, \qquad (4)$$

die sich mit dem Trägheitsmoment Θ der Schwungscheibe und der Steifigkeit c der Hohlwelle umformt in

$$\Delta\alpha = q'' \frac{\Theta}{c}. \qquad (5)$$

Von dem Einfluß der geringen Steifigkeit des Dielektrikums in dem Geberkondensator kann bei der Ermittlung der Eigenfrequenz abgesehen werden.

Wegen der Rückwirkungen auf den zu untersuchenden Beschleunigungsverlauf (z. B. Anlauf eines Drehstrommotors) muß das Trägheitsmoment Θ klein gewählt werden. Bei gegebener Eigenfrequenz ist somit der Drehbeschleunigungsmesser hinsichtlich seiner Steifigkeit c konstruktiv festgelegt. Bei einer Eigenfrequenz von $n = 1000$ Hz und bei einem Abstand $r = 5$ cm ergibt die Gleichung (4) mit $\Delta h = r\,\Delta\alpha$ unter Berücksichtigung der oben angegebenen Vergrößerung als kleinste meßbare Drehbeschleunigung q'' einen Wert in der Größenordnung von $1\,s^{-2}$.

Meßergebnisse

Läßt man einen Motor ohne Last anlaufen, so dient bei Vernachlässigung seines Reibungsmomentes das von dem Motor beim Anlauf entwickelte Drehmoment ausschließlich zur Massenbeschleunigung. Wird mit dem in Abb. 3 dargestellten Drehbeschleunigungsmesser die Beschleunigung q'' gemessen, so ergibt sich für das Drehmoment M des Motors, wenn Θ' das Trägheitsmoment des Motorankers einschließlich des Beschleunigungsmessers ist,

$$M = q''\Theta'.$$

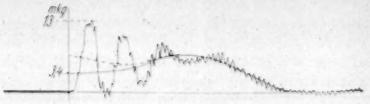
Ist weiter Θ das Trägheitsmoment der Schwungscheibe des Drehbeschleunigungsmessers, x die aus einer statischen Eichung ermittelte Drehmomentempfindlichkeit in mkg je mm-Ausschlag des Meßinstrumentes und y der Ausschlag in mm, so ergibt sich

$$x\,y = q''\Theta$$

und damit das Drehmoment

$$M = \frac{\Theta'}{\Theta}\, x \cdot y.$$

Untersucht wurde ein in Kugellagern gelagerter 5,5-kW-Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlußanker. Der Motor wurde ohne Zuhilfenahme von Anlaßgeräten direkt eingeschaltet. Der Anlauf erfolgte in 0,14 s. Die Drehbeschleu-



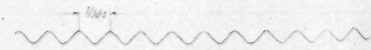


Abb. 4. Drehmomentverlauf eines Asynchronmotors aus der Drehbeschleunigung beim Leer-Anlauf.

nigung ist in Abb. 4 aufgezeichnet. Das Drehmoment führt nach dem Einschalten eine gedämpfte Schwingung um einen mittleren Wert (gestrichelte Linie) von etwa der Hälfte des Maximalwertes aus. Der Maximalwert ergibt sich aus der statischen Eichung des Gerätes zu

etwa 13 mkg, die Frequenz der Schwingung entspricht dem Unterschied der Netzfrequenz und der Drehfrequenz, d. h. also der Schlupffrequenz des Läufers.

Der Verlauf des Drehmoments vom Stillstand bis zum synchronen Lauf, den man für die Drehmomentmessung aus der Beschleunigung erwarten müßte, läßt sich auch mit einiger Genauigkeit aus dem Heylandschen Kreisdiagramm[1]) ermitteln. Aus den nach Größe und Phase zu messenden Werten des Kurzschluß- und des Leerlaufstromes kann man das Stromdiagramm aufstellen. Ist ferner z. B. noch die Größe des Ohmschen Widerstandes der Ständerwicklung bekannt, so kann die Größe des Drehmomentes und der Schlüpfung für jeden Punkt aus dem Diagramm entnommen werden. Den Drehmomentmaßstab liefert der Nennpunkt des Motors, für den Stromstärke, Nennleistung und Drehzahl angegeben sind. Aus dem Heylandkreis ergab sich in dieser Weise der in das Oszillogramm ausgezogen eingezeichnete Verlauf des Drehmomentes. Das Kurzschlußmoment ist hiernach etwa 3,4 mkg, das Kippmoment 6,9 mkg. Von diesem Verlauf, der entsprechend der Art der Ermittlung aus stationären Betriebswerten nur für den stationären Betrieb des Motors gilt, weicht der gemessene Drehmomentverlauf aus der Beschleunigung erheblich ab. Die Ursache hierfür sind Ausgleichsdrehmomente, die durch das beim Einschalten auftretende Ausgleichsfeld hervorgerufen werden. Diese Ausgleichsvorgänge sollen im folgenden Abschnitt erläutert werden.

Darstellung der Ausgleichsvorgänge beim Anlauf

Wir nehmen zunächst an, daß sich der Motor auch nach dem Einschalten nicht dreht, daß also der Läufer festgehalten sei. Im Augenblick des Einschaltens ist das magnetische Feld Φ des Motors, das als Drehfeld mit der Netzfrequenz im Motor umlaufen soll, noch nicht vorhanden. Es muß daher ein Ausgleichsfeld Φ' entstehen, das den Übergang vom Anfangszustand o des Feldes bis zum stationären Endzustand Φ vermittelt. Das Ausgleichsfeld muß hierzu den Anfangswert $\Phi'_{t=0} = -\Phi$ haben. Seine räumliche Lage im Motor hängt davon ab, zu welchem Zeitpunkt innerhalb der Periode des Drehstromnetzes eingeschaltet wird. Dementsprechend stellen sich die Ausgleichsströme in den 3 Phasenwicklungen des Motors ganz verschieden ein, jedoch stets so, daß die Summe der Durchflutungen der 3 Phasen dem Ausgleichsfeld entspricht. Infolge der magnetischen Verkettung von Ständer- und Läuferwicklung beteiligt sich auch der Läufer am Zustandekommen der Ausgleichsdurchflutung, wobei ebenfalls die räumliche Lage des Läuferstromes im Motor durch den Einschaltzeitpunkt festgelegt ist. Geht man dabei von der räumlichen Stellung des Ausgleichsfeldes im Einschaltzeitpunkt aus, so kann man die Stromverteilung auf die einzelnen Phasen außer Betracht lassen und mit den aus den 3 Phasen resultierenden sinusförmigen Durchflutungen bzw. Feldern rechnen. Da für die Ermittlung des Drehmomentes nur die Kenntnis der Läufergrößen von Feld und Stromerforderlich ist, werden im folgenden nur noch die Läuferströme und Läuferfelder (Index 2) behandelt.

Unter der Voraussetzung konstanter Induktivitäten und Widerstände des Motors wird das Läuferausgleichsfeld Φ'_2 exponentiell gedämpft abklingen. Im Gegensatz zu dem stationären Läuferfeld Φ_2 und dem stationären Läuferstrom J_2, die mit Netzfrequenz umlaufen, bleibt jedoch das Ausgleichsfeld Φ'_2 im Läufer stehen. Ebenso wird der Läuferausgleichsstrom J'_2 nicht umlaufen. Das Drehmoment des Motors, das dem Produkt aus Läuferfeld und Läuferstrom proportional ist, muß daher gleichfalls Ausgleichsglieder aufweisen. Außer dem stationären Kurzschlußdrehmoment M, das dem Produkt von J_2 und Φ_2 entspricht und das zeitlich gleichbleibend ist, da sowohl J_2 wie Φ_2 mit Netzfrequenz umlaufen, treten daher noch folgende Ausgleichsdrehmomente auf:

1. Das dem Produkt von Ausgleichsstrom J'_2 und Ausgleichsfeld Φ'_2 entsprechende Ausgleichsdrehmoment M'. Beide Glieder behalten ihre räumliche Lage im Motor und klingen exponentiell gedämpft ab. Φ'_2 und J'_2 haben beide entgegengesetztes Vorzeichen wie Φ_2 und J_2. Das Ausgleichsmoment M' hat daher dieselbe Richtung wie das stationäre Kurzschlußmoment M. Die Anfangsgröße von J'_2 und Φ'_2 entspricht den Werten J_2 und Φ_2. Der Anfangswert des Ausgleichsmomentes ist daher gleich dem stationären Kurzschlußmoment M.
2. Das dem Produkt des Ausgleichsstromes J'_2 und des stationären Feldes Φ_2 entsprechende Ausgleichsdrehmoment M''. Da J'_2 und Φ_2 verschiedenes Vorzeichen besitzen, ist der Anfangswert des Ausgleichsmomentes M'' negativ und entgegengesetzt gleich dem stationären Moment M. Das Ausgleichsmoment M'' führt Schwingungen von Netzfrequenz um die Nullage aus, die nach einer cosinus-Funktion verlaufen und exponentiell gedämpft sind.

[1]) Siehe z. B. Thomälen, Lehrbuch der Elektrotechnik, 10. Auflage, S. 271. Verlag Springer, Berlin 1929.

3. Das dem Produkt des stationären Stromes J_2 und des Ausgleichsfeldes Φ_2' entsprechende Ausgleichsmoment M''''. Der Anfangswert ist entgegengesetzt gleich dem stationären Kurzschlußmoment M. Das Ausgleichsmoment M'''' führt ebenfalls exponentiell gedämpfte cosinus-Schwingungen von Netzfrequenz um die Nullage aus.

Das Drehmoment ist also im Augenblick des Einschaltens wegen der verschiedenen Vorzeichen der einzelnen Momente Null. Nach einer halben Periode haben jedoch alle drei Ausgleichsmomente dasselbe Vorzeichen wie das stationäre Kurzschlußmoment, so daß in diesem Zeitpunkt ein Höchstwert des Drehmomentes auftritt, der bis zum Vierfachen des stationären Drehmomentes betragen kann. Wieweit dieser Grenzwert erreicht wird, hängt u. a. von der Dämpfung der Ausgleichsglieder ab.

Setzt sich der Motor in Bewegung, fällt also die bei den bisherigen Überlegungen gemachte Voraussetzung weg, daß der Kurzschlußzustand durch Festhalten des Läufers erhalten bleibt, so ändern sich die aufgestellten Bedingungen für die Ausgleichsdrehmomente insofern, als durch die Drehung des Läufers gegenüber dem Ständer zusätzliche Ströme von Netzfrequenz im Ständer und Läufer induziert werden. Hierdurch wird der Verlauf der Ausgleichsmomente weiter beeinflußt. Diese Beeinflussung muß sich so auswirken, daß einerseits die Dämpfung der Ausgleichsglieder, andererseits ihre Frequenz sich ändert, und zwar ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Frequenz gleich der Schlupffrequenz des Läufers sein muß.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Vergleicht man die oszillographische Aufnahme des Beschleunigungsverlaufes in Abb. 4 mit den im vorstehenden Abschnitt aufgestellten Bedingungen für den Verlauf der Ausgleichsdrehmomente, so erkennt man folgendes: Der Unterschied der gestrichelt eingezeichneten Kurve des mittleren Verlaufes des Drehmomentes gegenüber dem voll gezeichneten Drehmomentverlauf bei stationärem Betrieb des Motors entspricht dem Ausgleichsmoment M', das als Anfangswert etwa die Größe des Kurzschlußmomentes hat und exponentiell gedämpft abklingen muß. Der gestrichelten Kurve des mittleren Drehmomentes sind die Ausgleichsschwingungen der Drehmomente M'' und M'''' überlagert, die als cosinus-Funktion exponentiell gedämpft mit der Schlupffrequenz des Läufers verlaufen und zusammen mit den Drehmomenten M und M' den Anfangswert Null des Drehmomentes ergeben. Der Höchstwert des Drehmomentes beim Anlauf ergibt sich zum etwa 3,8fachen des stationären Kurzschlußmomentes.

Dies bedeutet, daß beim Anlauf eines Asynchronmotors eine hohe Überbeanspruchung nicht nur des Motors, sondern auch der mit ihm gekuppelten Maschine und aller Übertragungsteile, wie Kuppelungen oder Vorgelege, auftritt. Insbesondere dürfte der Einfluß dieser Überbeanspruchung beim Anlauf bei der Verwendung von großen Schwungscheiben von Bedeutung sein, bei denen schon von vornherein eine starke mechanische Beanspruchung vorliegt. Das Ausgleichsmoment kann aber umgekehrt auch günstig wirken, da es drehmomenterhöhend ist. Dies wird dann der Fall sein, wenn ein schwerer Anlauf z. B. durch große Anfangsreibung bei kalten Transmissionslagern vorliegt.

Die Beschleunigungsmessung an dem leerlaufenden Motor mit dem neuen elektrostatischen Meßverfahren ergibt also die einfache Möglichkeit, Maschinen auch im nichtstationären Betrieb zu untersuchen und Aufschluß zu erhalten über den Verlauf der mechanischen Beanspruchung. Die Anwendung des Verfahrens ist nicht auf die Untersuchung von Asynchronmotoren beschränkt. So ist es z. B. auch von großem Interesse, den Beschleunigungsverlauf von Synchrongeneratoren beim Kurzschluß zu untersuchen. Darüber hinaus ist das neue Meßverfahren ganz allgemein dort brauchbar, wo es sich um die Messung von Bewegungsvorgängen handelt, bei denen eine mechanische Größe festgestellt werden soll, die als Längenänderung darstellbar ist. Als Beispiel seien genannt die Messung von Erschütterungsbewegungen und -beschleunigungen und die Messung rasch veränderlicher Kräfte. Es ist dabei ein Vorzug des neuen Verfahrens, daß es außer dem Geberkondensator, der dem Verwendungszweck entsprechend ausgebildet sein muß und sehr widerstandsfähig gebaut werden kann, nur ein einfach zu handhabendes Röhrenvoltmeter benötigt, das sich bei Betriebsmessungen bereits bewährt hat und das in Verbindung mit einem üblichen oszillographischen Registriergerät verwendet wird.

Berlin-Charlottenburg, Februar 1938

(Eingegangen 26. Februar 1938)

Magnetische und röntgenographische Untersuchungen an Nickel-Platin-Legierungen

Von A. Kußmann und H. Nitka

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Im Rahmen von Messungen über die Legierungen zwischen den Elementen der Platin- und Eisengruppe haben wir das System Nickel-Platin einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Magnetische Daten über diese Legierungen sind vor einigen Jahren von Constant[1]) und kürzlich von Marian[2]) mitgeteilt worden, der bereits auf einige Anomalien in dem Legierungsbereich um 25 At.-Proz. *Pt* und die Möglichkeit einer Überstrukturbildung hingewiesen hat. Diese Frage konnte vollgültig jedoch nur durch Kristallstrukturbestimmungen geklärt werden, über die im Zusammenhang mit den magnetischen Messungen im folgenden berichtet sei.

Die Versuchsproben standen in Form von kleinen Stäbchen zur Verfügung, die zum Teil aus Elektrolyt-Nickel und Platin (Reinheitsgrad 99,9 Proz.) selbst erschmolzen, zum Teil von der Firma Heraeus Platinschmelze in Hanau freundlicherweise überlassen waren. Um Konzentrationsunterschiede auszugleichen, wurden die Proben mehrere Stunden bei hohen Temperaturen geglüht, sodann von 900° in Wasser abgeschreckt und nachträglich angelassen.

Die Untersuchung der magnetischen Eigenschaften erstreckte sich auf die Aufnahme der Magnetisierungsintensität im Feldstärkenbereich zwischen 1000 und 10000 Gauß, woraus sich die magnetische Sättigung $4\pi J_\infty$ und über die Temperaturabhängigkeit dieser Größe auch der Curiepunkt ermitteln ließen. Vereinzelt wurde auch die Koerzitivkraft geprüft. Die Zusammensetzung der Legierungen und die Ergebnisse der magnetischen Messungen sind in Zahlentafel I und auszugsweise in Abb. 1 und 2 dargestellt,

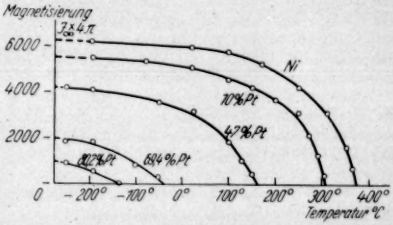


Abb. 1. Magnetisierungs-Temperaturkurven von *Ni-Pt*-Legierungen.

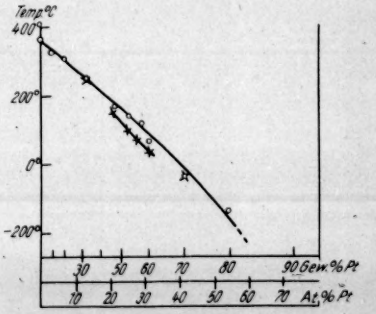


Abb. 2. Verlauf der Curiepunkte im System *Ni-Pt*.
○ = Von 900° abgeschreckt.
× = Bei 450° angelassen.

Zahlentafel I

Eigenschaften von Platin-Nickel-Legierungen

Zusammensetzung		Dichte	Magnetische Sättigung $4\pi J_\infty$			Curietemperatur °C
Gew.-Proz. *Pt*	At.-Proz. *Pt*		bei 20° C	bei −193°C	beim abs. Nullpunkt (extr.)	
0	0	8,8	6030	6220	6300	368°
10	3,2	9,4	5450	5850	6000	325°
18,6	6,5	—	5040	5480	5600	307°
31,8	12,5	11,2	4190	4590	4800	250°
47	21	11,7	3150	4000	4200	165°
53	25,4	12,6	2760	3750	3900	138°
57,5	29	12,8	2000	3100	3400	120°
60	31,2	13,1	1300	2700	3000	66°
69,4	41	14,0	—	1800	2000	−40
80,2	54,8	14,5	—	520	1000	−140
90	72,8	18,8	—	—	—	—
95	85,2	19,7	—	—	—	—

wobei sich die Resultate zunächst auf die von hohen Temperaturen (900°) abgeschreckten Proben beziehen.

In Übereinstimmung mit Marian wurde gefunden, daß der magnetische Umwandlungspunkt des Nickels durch Zusatz von Platin stetig herabgesetzt wird. Er geht bei der Legierung mit rund 68 Gew.-Proz. (40 At.-Proz.) *Pt* durch die Raumtemperatur und dürfte bei etwa 85 Gew.-Proz. (63 At.-Proz.) *Pt* den absoluten Nullpunkt erreichen. Die von uns gefundene Curiepunkts-Konzentrationskurve liegt etwas höher als von diesem Autor angegeben, was zweifelsohne mit dem verschiedenen Gehalt an

1) F. W. Constant, Phys. Rev. **34**, 1227, 1929.
2) M. V. Marian, Thése Strasbourg 1936.

Beimengungen in den Proben zusammenhängt; sie verläuft als Funktion der Atomprozente annähernd linear, und zwar beträgt die Curiepunktserniedrigung je At.-Proz. *Pt* etwa 9°. Parallel dem Absinken des Curiepunktes nimmt auch die Sättigungsmagnetisierung ab. Von 68 Gew.-Proz. an sind die Legierungen nur unterhalb Raumtemperatur ferromagnetisch (vgl. Abb. 1), bei Proben mit 90 und 95 Gew.-Proz. *Pt* konnte auch bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffes kein Ferromagnetismus nachgewiesen werden. In ihrem sonstigen Verhalten zeigten die Legierungen des ferromagnetischen Bereichs keine Besonderheiten, sie wiesen insbesondere gleichbleibend kleine Koerzitivkräfte auf, wie es für feste Lösungen zweier Metalle typisch ist. Die paramagnetische Suszeptibilität der Proben mit 90 und 95 Proz. *Pt* wurde bei Raumtemperatur zu $\varkappa \sim 110$ bzw. $64 \cdot 10^{-6}$ ermittelt.

Die röntgenographische Untersuchung erfolgte in Debye-Scherrer-Kammern von 57,3 mm Durchmesser. Als Strahlungen dienten *Co*-*K*- und *Cu*-*K*-Strahlungen von Metalix-Röntgenröhren, die bei 25 kV_s-Röhrenspannung und 20 mA Röhrenstrom in Halbwellenschaltung betrieben wurden. Die Strahlungen waren durch *Fe*- (bei *Co*-Strahlung) und *Ni*-Folien (bei *Cu*-Strahlung) vorgefiltert, die Belichtungszeiten lagen zwischen 20 Minuten (bei normalen Diagrammen) und 2 Stunden (zur Auffindung der Überstrukturlinien).

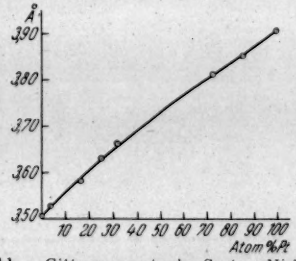


Abb. 3. Gitterparameter im System *Ni*-*Pt*.

Die Auswertung der Interferenzbilder ergab in Übereinstimmung mit dem von Kurnakov und Nemilov[1]) auf Grund der thermischen Analyse und der Schliffbilder aufgestellten Zustandsdiagramm für die von hohen Temperaturen abgeschreckten Proben das Vorliegen einer lückenlosen Reihe von Mischkristallen mit kubisch-flächenzentrierter Struktur. Abb. 3 zeigt den Gang der Gitterkonstanten mit dem Platingehalt, aus der man ersieht, daß die Abweichung von der strengen Linearität unterhalb 6 Promille bleibt, das Vegardsche Gesetz in diesem System also annähernd erfüllt ist.

Werden die Proben nicht von hohen Temperaturen abgeschreckt, sondern sehr langsam abgekühlt bzw. nachträglich bei Temperaturen unterhalb 450° angelassen, so wurde in den platinreichen und nickelreichen Legierungen keine Änderung des physikalischen Verhaltens, dagegen in dem Legierungsgebiet um 25 At.-Proz. *Pt* in der Tat beträchtliche Änderungen beobachtet (siehe unten), die auf eine Strukturumwandlung hindeuteten. Die durchgeführten röntgenographischen Messungen bestätigten diese Vermutung, und zwar zeigte das Diagramm der Proben dieses Gebietes nach langdauernder Erwärmung eine Anzahl neuer Linien, die sich zwanglos unter dem Gesichtspunkt einer regelmäßigen Atomverteilung der *Pt*-Atome im *Ni*-Gitter einordnen lassen. Nachfolgende Erhitzung der Proben auf etwa 900° und Abschrecken im Wasser zerstörte den periodischen Gitterzustand, was sich durch Fehlen der Überstrukturlinien zu erkennen gab. In der Zahlentafel II sind die beobachteten Interferenzen für eine Probe mit 25 At.-Proz. enthalten.

Zahlentafel II

Ni_3Pt (25,4 At.-Proz. *Pt*), *Co K*-Strahlung, Kammerdurchmesser 57,30 mm

Normale Linien			Überstrukturlinien			Intensität
hkl	$\sum h^2$	$\sin^2\vartheta$	*hkl*	$\sum h^2$	$\sin^2\vartheta$	
—	—	—	001	1	0,061	s.
—	—	—	011	2	0,122	s.
111 *β*	3	0,149	—	—	—	s.
111	3	0,181	—	—	—	s. st.
002 *β*	4	0,198	—	—	—	s.
002	4	0,241	—	—	—	m.
—	—	—	012	5	0,302	s. s.
—	—	—	112	6	0,362	s. s.
022 *β*	8	0,396	—	—	—	s. s.
022	8	0,483	—	—	—	st.
113 *β*	11	0,545	—	—	—	
—	—	—	003	9	0,544	m.
—	—	—	122			
222 *β*	12	0,594	—	—	—	s. s.
—	—	—	013	10	—	—
113	11	0,664	—	—	—	s. st.
222	12	0,725	—	—	—	st.

Die mit der Bildung der Überstrukturphase zusammenhängenden Änderungen der magnetischen Eigenschaften wurden in Übereinstimmung mit Marian gefunden, und zwar ergab sich, daß die angelassenen Proben, d. h. also die geordnete Phase, einen tieferen Curiepunkt und eine geringere Sättigungsintensität besitzt als

1) N. S. Kurnakov und W. A. Nemilov, Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie **210**, 13, 1933.

der ungeordnete Mischkristall. Die Herabsetzung der magnetischen Umwandlungstemperatur durch die Bildung der Überstruktur beträgt etwa 30–40° (vgl. Abb. 2) und sei noch genauer durch die Abb. 4 und 5 erläutert, von denen die erstere die Magnetisierungstemperaturkurven der Probe mit 53 Gew.-Proz. (25,4 At.-Proz.) *Pt* und Abb. 5 die gleichen und außerdem die Magnetisierungs-

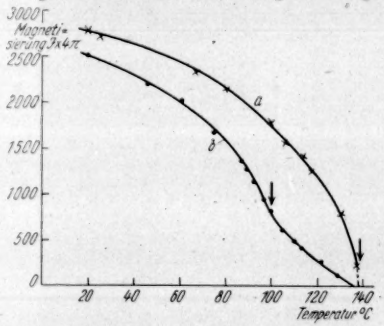


Abb. 4. Magnetisierungs-Temperaturkurve einer Legierung mit 53 Gew.-Proz. (25,4 At.-Proz.) *Pt*. *a*) Von 900° abgeschreckt. *b*) Bei 450° angelassen.

feldstärkekurven für die Probe mit 60 Gew.-Proz. (31 At.-Proz.) darstellt. Abweichend von dem genannten Autor wurde gerade bei der Probe mit der ziemlich genauen stöchiometrischen Zusammensetzung Ni_3Pt, noch ausgeprägter bei geringeren Platingehalten die Umwandlungsgeschwindigkeit so gering gefunden, daß der Endzustand nicht erreicht werden konnte, sondern stets nur ein Gemenge beider Zustände erhalten wurde, denen die beiden Curiepunkte auf der Abb. 4, Kurve *b*, entsprechen. Dagegen erfolgt bei höheren Platingehalten die Einstellung der Atomordnung relativ schnell und vollständig (vgl. Abb. 5). Hier konnte auch die Sättigungsintensität getrennt festgestellt werden, und zwar ergab sich, daß sie für den geordneten Zustand am absoluten Nullpunkt um 10 Proz. kleiner ist als für den Mischkristall.

In Analogie mit anderen Überstrukturumwandlungen wird auch die elektrische Leitfähigkeit der Proben durch den Eintritt des Zustandes geordneter Atomverteilung erhöht, und zwar beobachteten wir bei der Legierung mit 60 Gew.-Proz. (31 At.-Proz.) eine Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes von 0,39 im abgeschreckten Zustand auf 0,36 Ω je m/mm² nach einem 50stündigen Anlassen bei 450°, bei

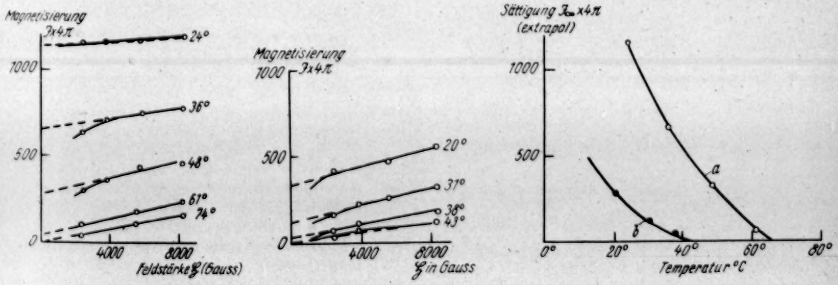


Abb. 5. Magnetisierung als Funktion von Feldstärke und Temperatur bei einer Probe mit 60 Gew.-Proz. (31 At.-Proz.) *Pt*. *a*) Von 900° abgeschreckt. *b*) Bei 450° angelassen.

der Probe mit 57 Gew.-Proz. (29 At.-Proz.) *Pt* eine solche von 0,38 auf 0,29 Ω je m/mm², geht durch Anlassen (450°) aus dem Mischkristall hervor und unterscheidet sich von diesem durch höhere elektrische Leitfähigkeit, geringere magnetische Sättigung und tieferen Curiepunkt.

Zusammenfassung

Durch röntgenographische Untersuchungen wird in dem System Nickel-Platin an der Stelle Ni_3Pt eine Überstrukturphase nachgewiesen; sie

Berlin-Charlottenburg, Februar 1938.

(Eingegangen 7. März 1938)

Eine Übersicht über die elektromagnetischen Einheiten

Von F. Hund

Im folgenden sollen in zwei Tabellen die Einheiten der gebräuchlichen elektromagnetischen Maßsysteme miteinander verglichen werden. Die Tabellen mögen dabei als Ergänzung von Lehrbüchern der Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen dienen, auch als Anregung zur Behandlung der Einheiten in einer Vorlesung über die Theorie der Elektrizität und des Magnetismus[1]). Die ausschließliche Bedeutung eines einzigen Maßsystems (etwa des praktischen oder des Gaußschen) ist zweckmäßig, wenn das engere Anwendungsgebiet festliegt; sie mag auch Vorteile haben, wenn ein bestimmter Abschnitt der elektromagnetischen Erscheinungen als Ausgangspunkt dient. Dort aber, wo Grundlagen für alle möglichen Anwendungen und Weiterentwicklungen der Elektrodynamik gelegt werden sollen (für Technik, Lichttheorie, Elektronentheorie, Atomistik usw. — oder Gebiete, die man heute noch nicht weiß), möchte man die Wahl der Einheiten weitgehend offen lassen, also eine Darstellung wählen, die von der Einheitenwahl nicht abhängt.

Die tatsächliche Vielheit der elektromagnetischen Einheitensysteme hat zwei Wurzeln. Sie kommt erstens daher, daß sich drei Konstante der Grundgleichungen zur Festlegung mittels einer Definition anbieten, etwa ε_0, $\frac{1}{\mu_0}$, γ in der im Vakuum gültigen Energiegleichung

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{2}\varepsilon_0\mathfrak{E}^2+\frac{1}{2\mu_0}\mathfrak{H}^2\right)+\operatorname{div}\gamma[\mathfrak{E},\mathfrak{H}]+i\mathfrak{E}=0, \quad (1)$$

aber bei vorheriger Festlegung der Längen- und Zeiteinheit nur zwei durch Definition festgesetzt werden können. Sie kommt zweitens daher, daß man die Faktoren 4π in die Grundgleichungen oder in die Elementargesetze schreiben kann [Gleichung (1) entspricht den Grundgleichungen ohne 4π].

Der erste Umstand hat nur eine geringe Schwierigkeit zur Folge, wenn man alle Konstanten ε_0, $\frac{1}{\mu_0}$, γ nicht als reine Zahlen, sondern als physikalische Größen, die in verschiedenen Einheitensystemen gemessen werden können, auffaßt. Um alle gebräuchlichen Einheitensysteme umfassen zu können, braucht man dabei fünf Grundgrößen, etwa Länge, Zeit, Energie, elektrische Ladung und magnetische Induktion. Die Gaußsche (elektrostatische) Ladungseinheit (esL) und das Coulomb (C) können dann z. B. durch die Angaben $\left(\text{vgl. } W=\frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}\right)$

$$4\pi\varepsilon_0 = 1\ \text{esL}^2/\text{erg cm}$$
$$= 1{,}11\cdot 10^{-12}\ \text{C}^2/\text{Wsek cm (F/cm)}$$

an die Einheiten von Länge und Energie angeschlossen werden. Die Einheiten Gauß (G) der magnetischen Induktion und Maxwell (M) oder Weber (Wb) des Induktionsflusses können z. B. durch die Angaben $\left(\text{vgl. } W=\frac{1}{2\mu_0}\iiint\mathfrak{B}^2 d\tau\right)$

$$\frac{\mu_0}{4\pi} = 1\ \text{G}^2\text{cm}^3/\text{erg} = 1\ \text{M}^2/\text{erg cm}$$
$$= 10^{-9}\ \text{Wb}^2/\text{Wsek cm}$$

oder $\left(\text{vgl. } U=\frac{1}{\gamma}\frac{d\Phi}{dt}\right)$ durch

$$\gamma = 3{,}00\cdot 10^{10}\ \text{G esL cm}^2/\text{erg sek}$$
$$= 3{,}00\cdot 10^{10}\ \text{M esL/erg sek},$$
$$= 10\ \text{M C/erg sek} = 1\ \text{Wb/Vsek}.$$

Das häufig benutzte praktische Maßsystem mit nur vier Grundgrößen kann man durch nachträgliche Gleichsetzung von Wb und Vsek erhalten. Würde man von vornherein die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses und das Linienintegral der elektrischen Feldstärke als gleiche Größen oder das Linienintegral der magnetischen Feldstärke und die Stromstärke als gleiche Größen ansehen, so könnte man das Gaußsche Maßsystem nicht eingliedern. Die Auffassung, daß elektrische Feldstärke und dielektrische Verschiebung (magnetische Feldstärke und Induktion) nicht wesensverschiedene Größen seien, ist mit unserer Darstellung durch fünf Grundgrößen nicht unverträglich; wir verstehen dann eben unter $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{D}$ das Ergebnis zweier verschiedener Wege, ein elektrisches Feld zu messen ($\mathfrak{E}$ gibt die Kraftwirkung auf eine Ladung an, $\mathfrak{D}$ die Erzeugung des Feldes durch Verschieben einer Ladung).

Die Umrechnung von Angaben bei Wechsel des Maßsystems kann jetzt ohne Nachdenken geschehen durch Benutzung von wenigen „Größengleichungen" (deren Bestandteile Größen, also benannte Zahlen oder auch nur

1) Das war auch der Anlaß zur Aufstellung der Tabellen. Wichtige Voraussetzungen waren: J. Wallot, Die Physik **1**, 1, 1933; **5**, 1, 1937; A. Sommerfeld, Physik. Zeitschr. **36**, 814, 1935.

Benennungen sind); zu Umrechnungen zwischen dem Gaußschen und dem praktischen Maßsystem genügen z. B. die drei Gleichungen

$$1\,\mathrm{Wsek} = 10^7\,\mathrm{erg}; \qquad 300\,\mathrm{Volt} = 1\,\mathrm{erg/esL};$$
$$1\,\mathrm{Wb} = 10^8\,\mathrm{M}.$$

Die Willkür in der Stellung der Faktoren 4π ist insofern eine ernstere Schwierigkeit, als von den in der Gleichung

$$W = \frac{1}{2}\iiint \mathfrak{E}\mathfrak{D}\,d\tau$$

und in der Gleichung

$$W = \frac{1}{8\pi}\iiint \mathfrak{E}\tilde{\mathfrak{D}}\,d\tau$$

vorkommenden Größen W, $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{D}$ mindestens eine in beiden Fällen etwas Verschiedenes bedeutet. Man kommt zur einfachsten Übersicht über die gebräuchlichen Maßsysteme, wenn man die Bedeutung von $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{B}$ als unabhängig von der Stellung der 4π ansieht; die Bedeutung von $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{H}$ ist dann von der Stellung der 4π (in den Grundgleichungen oder in den Elementargesetzen) abhängig. Wir wollen die Zeichen $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{H}$ den mit 4π-freien Grundgleichungen („rational") definierten Größen vorbehalten und für die mit 4π-haltigen Grundgleichungen („irrational") definierten Größen $\tilde{\mathfrak{D}}$ und $\tilde{\mathfrak{H}}$ schreiben (Beispiele siehe Tabellen). Das Ørsted ist eine Einheit für $\tilde{\mathfrak{H}}$, nicht für $\mathfrak{H}$; das Gilbert (Gb = Øcm) ist eine Einheit für $\int\tilde{\mathfrak{H}}d\tau$. Der Vorteil der 4π-freien Grundgleichungen liegt u. a. darin, daß $\mathfrak{D}$ direkt und anschaulich durch eine Ladung pro Fläche angegeben wird (die Verschiebung der Ladungseinheit durch die Flächeneinheit hindurch erzeugt die $\mathfrak{D}$-Einheit) und daß $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{P}$ in der gleichen Einheit gemessen werden. Der Vorteil der 4π-haltigen Grundgleichungen liegt u. a. in der einfachen Form des Coulombschen Gesetzes ($Q_1Q_2/\tilde{\varepsilon}_0 r^2$), das in der Atomphysik eine zentrale Stellung hat. Glücklicherweise hat die Stellung der 4π nur Einfluß auf die Einheiten von $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{H}$.

Will man von „rationalen" zu „irrationalen" Einheiten ohne Nachdenken übergehen, so hat man eine Vorsichtsmaßregel zu beachten: Aus den Definitionen von $\mathfrak{H}$ und $\tilde{\mathfrak{H}}$ darf man schließen, daß die $\mathfrak{H}$-Einheit das 4π-fache der $\tilde{\mathfrak{H}}$-Einheit ist. Eine Gleichung

$$\tilde{\mathfrak{H}} = 4\pi\mathfrak{H}$$

wäre aber keine Größengleichung, sondern nur eine Zahlengleichung für die Anzahlen der $\tilde{\mathfrak{H}}$-Einheiten und der $\mathfrak{H}$-Einheiten[1]). Man benutze solche Gleichungen beim Umrechnen nicht, sondern rechne die Einheiten selbst mit

$$1\,\mathrm{erg/G\,cm^3(rat)} = 4\pi\,\mathrm{erg/G\,cm^3(irr)} = 4\pi Ø$$
$$1\,\mathrm{C/cm^2(rat)} = 4\pi\,\mathrm{C/cm^2(irr)}$$

um. Eine Unterscheidung der rationalen und irrationalen Einheiten durch Faktoren 4π in der Benennung ist nicht ohne Willkür möglich und führt dabei leicht zu Fehlern, außer wo die Einheiten besondere Namen haben (wie Ø).

Die Tabellen enthalten das „Gaußsche" Maßsystem, weil es für atomistische Anwendungen und auch in der Elektronentheorie Vorteile hat, weiter das „praktische" Maßsystem, in zwei Fassungen (mit 5 und 4 Grundgrößen); das „absolute elektromagnetische" Maßsystem ist mitgeführt, weil es die geschichtliche Wurzel des praktischen ist; zugefügt ist noch ein „atomares" Maßsystem mit Elektronenmasse (m), 2π-tem Teil des Wirkungsquantes ($\hbar$), Elementarladung (e) und doppeltem Bohrschen Magneton ($e\hbar/mc$) als Einheiten. Die Zahlen sind nicht so genau gegeben, daß eine Unterscheidung der „internationalen" und der „absoluten" praktischen Einheiten nötig wäre.

Nicht ganz willkürfrei ist die Festsetzung von $\mathfrak{m}$ (magnetisches Moment) mit

$$W = -\mathfrak{m}\mathfrak{B}. \qquad (2)$$

Es ließe sich auch die andere Definition

$$W = -\mathfrak{m}\mathfrak{H}; \qquad W = -\tilde{\mathfrak{m}}\tilde{\mathfrak{H}} \qquad (3)$$

vertreten, bei der man dann auch

$$\mathfrak{B} = \mu_0\mathfrak{H} + \mathfrak{M}; \qquad \mathfrak{B} = \tilde{\mu}_0\tilde{\mathfrak{H}} + 4\pi\tilde{\mathfrak{M}}$$

schreiben würde. Die in den Tabellen gewählte Festlegung mit Gleichung (2) hat den Vorteil, daß für $\mathfrak{m}$ und $\mathfrak{M}$ die Stellung des 4π gleichgültig ist. Die Festlegung mit Gleichung (3) dagegen hätte den Vorteil, daß $\mathfrak{m}$ eng mit der Zahl der $\mathfrak{B}$-Linien verknüpft wäre (Einheit wäre dann G cm³ oder Wb cm oder Vsek cm).

---

1) Es sei denn, man gäbe 4π die Benennung $\tilde{\mathfrak{H}}$-Einheiten/$\mathfrak{H}$-Einheiten. Auch die Gleichung $\omega = 2\pi\nu$, die zwei Arten, eine Frequenz anzugeben, verknüpft, könnte nur dann als Größengleichung betrachtet werden, wenn man statt 2π die Größe 2π mit der Benennung ω-Einheiten/ν-Einheiten geschrieben denkt.

Tabelle I. Einheiten unter Benutzung

Grund- und Definitionsgleichungen	Größe	Einheiten: Gaußsches Maßsystem	Einheiten: Absolutes elektromagnetisches Maßsystem
Zufügung einer elektrischen Grundgröße (z. B. Q) zu Länge u. Energie: $W = QU = -Q\int \mathfrak{E}\, d\mathfrak{r}$	W	erg $= 10^{-7}$ Wsek	erg $= 10^{-7}$ Wsek
	Q	esL $= 3{,}33 \cdot 10^{-10}$ C	emL $= 10$ C
$dW = \iiint \mathfrak{E}\, d\mathfrak{D}\, d\mathfrak{r}$	U	erg/esL $= 300$ V	erg/emL $= 10^{-8}$ V
	C	esL^2/erg $= 4\pi\varepsilon_0$ cm $= 1{,}11 \cdot 10^{-12}$ F	emL^2/erg $= 10^9$ F
$\iint \mathfrak{D}\, d\mathfrak{f} = Q = CU$	$\mathfrak{E}$	erg/esL cm $= 300$ V/cm	erg/emL cm $= 10^{-8}$ V/cm
	$\mathfrak{D}$, $\mathfrak{P}$	esL/cm^2 $= 3{,}33 \cdot 10^{-10}$ C/cm^2	emL/cm^2 $= 10$ C/cm^2
Einheiten durch Festlegen von ε_0 in: $\mathfrak{D} = \varepsilon_0 \mathfrak{E} + \mathfrak{P}$		$4\pi\varepsilon_0 = 1$ esL^2/erg cm $= 1{,}11 \cdot 10^{-21}$ emL^2/erg cm	
Zufügung einer magnetischen Grundgröße (z. B. $\mathfrak{B}$ oder Φ) zu Länge und Energie: $dW = \iiint \mathfrak{H}\, d\mathfrak{B}\, d\mathfrak{r}$	$\mathfrak{B}$	G $= 10^{-8}$ Wb/cm^2	
	Φ	Gcm^2 $=$ M $= 10^{-8}$ Wb	
$W = -\mathfrak{m}\mathfrak{B}$	$\mathfrak{H}$	erg/Gcm^3 [$= 4\pi$Ø] $= 10$ Wsek/Wb cm	
$\Phi = \iint \mathfrak{B}\, d\mathfrak{f}$	$\int \mathfrak{H}\, d\mathfrak{r}$	erg/Gcm^2 [$= 4\pi$Gb] $= 10$ Wsek/Wb	
	$\mathfrak{m}$	erg/G $= 10$ Wsek cm^2/Wb	
Einheiten durch Festlegen von μ_0 in: $\mathfrak{H} = \frac{1}{\mu_0}\mathfrak{B} - \mathfrak{M}$			$\frac{4\pi}{\mu_0} = 1$ erg/G^2 cm^3
Verknüpfung der elektrischen und magnetischen Größen: $I = \iint i\, d\mathfrak{f}$ $\iint i\, d\mathfrak{f} = -\frac{dQ}{dt}$	I	esL/sek $= 3{,}33 \cdot 10^{-10}$ A	emL/sek $= 10$ A
	L	erg sek^2/esL^2 $= 9{,}00 \cdot 10^{11}$ H	erg sek^2/emL^2 $= 10^{-9}$ H
$\oint \mathfrak{H}\, d\mathfrak{r} = \frac{1}{\gamma} I$		$\gamma = 3{,}00 \cdot 10^{10}$ esL G cm^2/erg sek $= 1$ emL G cm^2/erg sek	
$\oint \mathfrak{E}\, d\mathfrak{r} = \frac{1}{\gamma}\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{\gamma}\frac{d}{dt}\iint \mathfrak{B}\, d\mathfrak{f}$		$\frac{\mu_0}{4\pi\gamma^2} = 1{,}11 \cdot 10^{-21}$ erg sek^2/esL^2 cm $= 1$ erg sek^2/emL^2 cm	
$U = L\dot{I}$			$\frac{\gamma}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = c = 3{,}00 \cdot 10^{10}$ cm/sek

Tabelle II. Einheiten unter Benutzung der Grund-

Grund- und Definitionsgleichungen	Größe	Einheiten: Gaußsches Maßsystem	Einheiten: Absolutes elektromagnetisches Maßsystem
$dW = \frac{1}{4\pi}\iiint \mathfrak{E}\, d\bar{\mathfrak{D}}\, d\mathfrak{r}$ $\iint \bar{\mathfrak{D}}\, d\mathfrak{f} = 4\pi Q$	$\bar{\mathfrak{D}}$	esL/cm^2(irr) $= 3{,}3 \cdot 310^{-10}$ C/cm^2(irr)	emL/cm^2 (irr) $= 10$ C/cm^2(irr)
$\bar{\mathfrak{D}} = \bar{\varepsilon}_0 \mathfrak{E} + 4\pi\mathfrak{P}$		$\bar{\varepsilon}_0 = 1$ esL^2/erg cm (irr) $= 1{,}11 \cdot 10^{-21}$ emL^2/erg cm (irr)	
$dW = \frac{1}{4\pi}\iiint \bar{\mathfrak{H}}\, d\mathfrak{B}\, d\mathfrak{r}$	$\bar{\mathfrak{H}}$	Ø $=$ erg/G cm^3 (irr) $= 10$ Wsek/Wb cm (irr)	
	$\int \bar{\mathfrak{H}}\, d\mathfrak{r}$	Gb $=$ erg/G cm^2 (irr) $= 10$ Wsek/Wb (irr)	
$\bar{\mathfrak{H}} = \frac{1}{\bar{\mu}_0}\mathfrak{B} - 4\pi\mathfrak{M}$			$\frac{1}{\bar{\mu}_0} = 1$ Ø/G
$\oint \bar{\mathfrak{H}}\, d\mathfrak{r} = \frac{4\pi}{\gamma} I$		$\gamma = 3{,}00 \cdot 10^{10}$ esL/Gb sek $= 1$ emL/Gb sek	
$\oint \mathfrak{E}\, d\mathfrak{r} = \frac{1}{\gamma}\frac{d\Phi}{dt}$		$\frac{\bar{\mu}_0}{\gamma^2} = 1{,}11 \cdot 10^{-21}$ erg sek^2/esL^2 cm (irr) $= 1$ erg sek^2/emL^2 cm (irr)	

der 4π-freien Grundgleichungen

Einheiten: Praktisches Maßsystem		Einheiten: Atomares Maßsystem	Größe
Wsek = Joule = VAsek		$me^4/\hbar^2 = 4{,}36 \cdot 10^{-18}$ Wsek = 27,2 eV	W
C = Asek		$e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C	Q
V		$me^3/\hbar^2 = 27{,}2$ V	U
C/V = F		$\hbar^2/me^2 = 0{,}529 \cdot 10^{-8}$ cm	C
V/cm		$m^2e^5/\hbar^4 = 5{,}14 \cdot 10^9$ V/cm	$\mathfrak{E}$
C/cm²		—	$\mathfrak{D}$, $\mathfrak{P}$
$= 1{,}11 \cdot 10^{-12}$ F/cm ;	$\varepsilon_0 = 8{,}86 \cdot 10^{-14}$ F/cm	$4\pi\varepsilon_0 = 1$	
Wb/cm²	Vsek/cm²	$m^2e^3c/\hbar^3 = 2{,}35 \cdot 10^9$ G = 23,5 Wb/cm²	$\mathfrak{B}$
Wb	Vsek	$\hbar c/e = 6{,}58 \cdot 10^{-16}$ Wb	Φ
Wsek/Wb cm	A/cm	—	$\tilde{\Phi}$
Wsek/Wb	A	—	$\int \tilde{\Phi} d\tau$
Wsek cm²/Wb	Acm²	$e\hbar/mc = 1{,}85 \cdot 10^{-20}$ erg/G $= 1{,}85 \cdot 10^{-19}$ Acm²	m
$= 10^9$ Wsek cm/Wb²	$\frac{1}{\mu_0} = 7{,}96 \cdot 10^7$ Acm/Vsek $= 7{,}96 \cdot 10^7$ cm/H	$\frac{4\pi}{\mu_0} = e^4/\hbar^2c^2 = 1/137^2$	
A = C/sek		$mc^5/\hbar^3 = 6{,}62 \cdot 10^{-3}$ A	I
H = Vsek/A		$\hbar^4/mc^6 = 0{,}995 \cdot 10^{-13}$ H	L
= 1 Wb/Vsek	$\gamma = 1$	$\gamma = \hbar c^2/e^2 = 137c$	
$= 10^{-9}$ H/cm ;	$\frac{\mu_0}{\gamma^2} = 1{,}26 \cdot 10^{-8}$ H/cm	$\frac{\mu_0}{4\pi\gamma^2} = 1/c^2$	

gleichungen mit 4π (soweit von Tabelle I verschieden)

Einheiten: Praktisches Maßsystem	Einheiten: Atomares Maßsystem	Größe
C/cm² (irr) $\left[= \frac{1}{4\pi}$ C/cm² (rat)$\right]$	—	$\tilde{\mathfrak{D}}$
$= 1{,}11 \cdot 10^{-12}$ F/cm (irr)	$\tilde{\varepsilon}_0 = 1$	
Wsek/Wb cm (irr) $\left[= \frac{1}{4\pi}$ Wsek/Wb cm (rat)$\right]$	—	$\tilde{\mathfrak{H}}$
Wsek/Wb (irr) $\left[= \frac{1}{4\pi}$ Wsek/Wb (rat)$\right]$	—	$\int \tilde{\mathfrak{H}} d\tau$
$= 10^9$ Wsek cm/Wb² (irr)	$\frac{1}{\tilde{\mu}_0} = e^4/\hbar^2c^2 = 1/137^2$	
$= 10$ A/Gb = 1 Wb/Vsek	$\gamma = \hbar c^2/e^2 = 137c$	
$= 10^{-9}$ H/cm (irr)	$\frac{\tilde{\mu}_0}{\gamma^2} = 1/c^2$	

Leipzig, Theoretisch-physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 6. März 1938)

Dipolmoment und freie Drehbarkeit[1])

Von Alfred Riedinger

Einleitung

Zahlreiche Untersuchungen mit den verschiedensten Methoden lassen es als gesichert erscheinen, daß bei den gesättigten Kohlenwasserstoffen die Tetraedersymmetrie des Methans im Elementarbaustein erhalten bleibt. Im ungestörten Zustand bilden daher diese Moleküle eine Zickzackkette, in der der Winkel zwischen den Valenzen ungefähr 110° beträgt. Infolge der Temperaturbewegung bleibt aber die Zickzackkette in ihrer gestreckten Form nicht erhalten, sondern es erfolgen Drehschwingungen um die *C-C*-Bindungen, die bei genügend hoher Temperatur in freie Drehungen übergehen können. Man kann aus der Größe des elektrischen Moments Einblick in diese Verhältnisse gewinnen, wenn man an geeigneten Stellen der Moleküle polare Substituenten einfügt. Die Momentgröße hängt dabei von der Amplitude der Drehschwingungen ab, die ihrerseits wiederum eine Funktion der Temperatur und des Potentialgradienten ist. Die Tiefe der Potentialmulden ist durch die Stärke der polaren Gruppen und durch ihre gegenseitige Entfernung bestimmt. Die vorliegende Arbeit soll zur Kenntnis dieses letztgenannten Einflusses auf die Momentgröße beitragen. Es wurden hierzu gesättigte Kohlenwasserstoffe untersucht, bei denen Wasserstoffatome in verschiedenen Abständen durch Phenylringe ersetzt waren.

Berechnung der elektrischen Momente

Zur Vermeidung von Assoziationen mußten die polaren Verbindungen in einer dipolfreien Flüssigkeit gelöst werden. Nach der Debyeschen Theorie[2]) ist die Molekularpolarisation des polaren Anteils einer solchen Lösung

$$P_2 = \frac{P_{12} - f_1 P_1}{f_2}.$$

Die Indizes 1 und 2 beziehen sich dabei auf das Lösungsmittel beziehungsweise auf die polare Substanz. Führt man statt der Molenbrüche f die Volumenkonzentration c_v der polaren Komponente ein, so erhält man den Ausdruck

$$P_2 = \frac{M_2}{c_v d_2}\left(\frac{\varepsilon_{12}-1}{\varepsilon_{12}+2} - (1-c_v)\,\frac{\varepsilon_1 - 1}{\varepsilon_1 + 2}\right),$$

oder etwas umgeformt

$$P_2 = \frac{M_2}{d_2(\varepsilon_1+2)}\left(\varepsilon_1 - 1 + \frac{\varepsilon_{12}-\varepsilon_1}{c_v}\,\frac{3}{\varepsilon_{12}+2}\right),$$

wobei M das Molekulargewicht, d die Dichte und ε die Dielektrizitätskonstante (DK) bedeutet. Für kleine Konzentrationen ist, wie die Versuche zeigten, das Verhältnis $(\varepsilon_{12}-\varepsilon_1)/c_v$ eine Konstante. Man erhält daher aus dem vorhergehenden Ausdruck die Molekularpolarisation für die Konzentration Null, wenn man im Nenner des letzten Bruches die Größe ε_{12} durch ε_1 ersetzt:

$$P_2^0 = \frac{M_2}{d_2(\varepsilon_1+2)}\left(\varepsilon_1 - 1 + \frac{\varepsilon_{12}-\varepsilon_1}{c_v}\,\frac{3}{\varepsilon_1+2}\right).$$

Diese Gesamtpolarisation setzt sich zusammen aus einem Anteil, der auf Elektronen- und Atomverschiebung entfällt (der Molekularrefraktion unter Einschluß der Ultrarotschwingungen R_2) und aus dem Anteil der Orientierungspolarisation P_2':

$$P_2^0 = R_2 + P_2' = \frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2}\,\frac{M_2}{d_2} + \frac{4\pi}{3}\,L\,\frac{\mu^2}{3kT}.$$

Es bedeutet hierbei n_2 den Brechungsindex der polaren Substanz, L die Loschmidtsche Zahl, k die Boltzmannsche Konstante und T die absolute Temperatur. Aus der letzten Beziehung folgt:

$$\mu = \sqrt{(P_2^0 - R_2)\,\frac{9kT}{4\pi L}} \quad \text{Debye}[1]).$$

Zur Berücksichtigung des Ultrarotgliedes der Molekularpolarisation wurde die Molekularrefraktion nach dem Vorschlag von Debye mit dem Wert des Brechungsindex für die *Na-D*-Linie berechnet.

Versuchsanordnung und Meßverfahren

Wie aus der Formel für das elektrische Moment hervorgeht, muß zu seiner Berechnung die Differenz der DK von Lösung und Lösungsmittel, der Brechungsindex und die Dichte der polaren Substanz (alle bei derselben Temperatur) bekannt sein.

Die DK wurde nach der von J. Herweg[2]) angegebenen Schwebungsmethode bei einer Frequenz von $\sim 7{,}5 \cdot 10^8$ Hertz bestimmt. Die Meßanordnung zeigte den üblichen Aufbau. Über die Spulen der beiden Hochfrequenzschwingungskreise waren je einige Drahtwindungen gelegt. Diese wurden hintereinander-

1) Gekürzte Dissertation der Naturwissenschaftlich-Mathematischen Fakultät der Universität Freiburg i. Br.

2) P. Debye, Polare Molekeln, Leipzig 1929.

1) 1 Debye (D) = 1 e.st.E. · 1 cm.

2) J. Herweg, Verh. d. dtsch. Physik. Ges. **21**, 572, 1919.

geschaltet und mit dem einen Ende über eine kleine Spannung an Erde gelegt, mit dem andern an das Gitter der ersten Röhre eines Niederfrequenzverstärkers geführt. An diesen war gleichzeitig eine Röhrenstimmgabel angeschlossen, so daß vom Lautsprecher die Überlagerung des Stimmgabeltones und des Hochfrequenzschwebungstones wiedergegeben wurde.

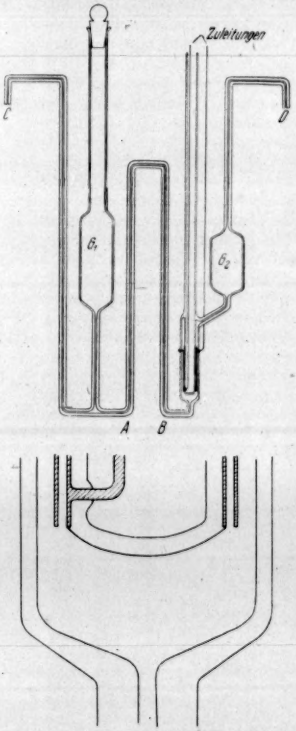


Fig. 1. Schnitt durch den Flüssigkeitskondensator.

Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch den verwendeten Flüssigkeitskondensator. Der Übersichtlichkeit halber ist er in „aufgeklappter" Form dargestellt. In Wirklichkeit sind die Glasrohre bei A und B nach hinten abgewinkelt, so daß die Rohrenden C und D nebeneinander liegen und der ganze Kondensator eine gedrängtere Form besitzt. Die Belegungen bestehen aus zwei Platinzylindern von 4 cm Länge, 1 cm Durchmesser und 0,5 mm Abstand. Bei den Messungen war der Kondensator in ein mit Paraffinöl gefülltes Dewargefäß eingetaucht. Die Temperatur konnte darin durch eine Heizspirale und eine Kühlschlange auf etwa $\pm$ 0,02° C konstant gehalten werden.

Beim Messen wird die Flüssigkeit in das Vorratsgefäß G_1 eingefüllt, wo sie sich der Temperatur des umgebenden Ölbades angleichen kann. Das U-förmig gebogene Zwischenstück verhindert zunächst ein Weiterfließen. Nach Temperaturausgleich genügt dann ein leichtes Ansaugen am Ende des Rohres D, um die Flüssigkeit durch Heberwirkung selbständig in den Kondensator überfließen zu lassen. Zur Messung der DK bei kleineren Konzentrationen kann in das Vorratsgefäß eine abgemessene Menge Lösungsmittel zugegeben und durch mehrmaliges Hin- und Hersaugen von Gefäß G_1 nach Gefäß G_2 und umgekehrt mit der Lösung gemischt werden. Wegen der hierdurch bedingten Erschütterungen ist jedoch die Meßgenauigkeit nicht so groß wie bei Einzelmessungen. Zur Füllung des Kondensators sind etwa 6 cm³ Flüssigkeit notwendig. Das Rohr C dient zur Entleerung.

Der zur Kompensation der Kapazitätsänderungen benützte Meßkondensator besteht aus einem feststehenden und einem in diesem durch eine Stahlspindel verschiebbaren Zylinder, ähnlich wie er von Th. Wulf[1]) angegeben wurde. Zur Prüfung der Proportionalität von Verschiebung und Kapazität wurde dem Kondensator eine sehr kleine Kapazität parallelgeschaltet und in aneinander grenzenden Meßbereichen kompensiert. Die Abweichungen sind in Fig. 2 100fach überhöht wiedergegeben. Sie überschreiten nirgends 2 Promille des gesamten

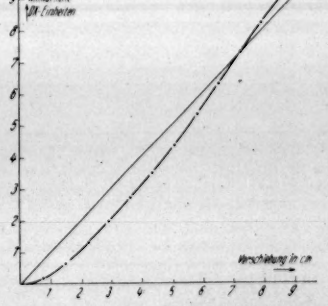


Fig. 2. Abweichung des Meßkondensators von der Linearität; 100fach überhöht.

[1]) Th. Wulf, Physik. Zeitschr. **26**, 352, 1925.

Verschiebungsbereichs und konnten leicht berücksichtigt werden.

Die DK-Messungen wurden nun so ausgeführt, daß zunächst bei luftgefülltem Flüssigkeitskondensator die Überlagerungsfrequenz durch Verschiebung des Meßkondensators auf Null gebracht wurde. Infolge des allmählichen Abfallens der Batteriespannungen und der hiermit verbundenen Frequenzänderung mußte der

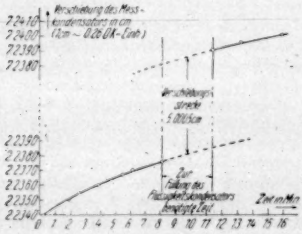


Fig. 3. Verschiebung des Meßkondensators während einer Messung.

Meßkondensator dauernd etwas nachgedreht werden. Dieser Gang wurde einige Zeit vor dem Einsaugen der Flüssigkeit beobachtet. Nach der Füllung des Flüssigkeitskondensators wurde der Meßkondensator wieder so weit verschoben, bis der Schwebungston verschwunden war und dann der Gang weiter verfolgt. In Fig. 3 ist diese Verschiebung des Meßkondensators und der beobachtete Gang in einem Beispiel dargestellt. Die wirkliche Verschiebung ergibt sich durch Extrapolation der Kurvenstücke (gestrichelt angedeutet).

Bei der Eichung wurde der DK-Wert von Benzol ($\varepsilon_{25°} = 2{,}2725$)[1] zugrunde gelegt. Die hierfür nötige Verschiebung des Meßkondensators betrug etwa 4,9 cm mit einer Streuung von 0,2 Promille. Die Eichung wurde nach jeder Messung mehrere Male wiederholt.

Zur Prüfung der Reinheit der Lösung konnte während der DK-Messungen ein einfaches Verfahren angewandt werden. Die beiden Schwingungskreise der Schwebungsapparatur waren nämlich absichtlich nicht vollständig entkoppelt, so daß in der Nähe der Resonanzstelle die sog. Zieherscheinung auftrat. Dabei springen die Frequenzen der beiden Kreise plötzlich auf eine Mittelfrequenz und beharren dort, bis durch äußere Eingriffe eine stärkere Verstimmung erzeugt wird. Die Breite dieses Mitführungsbereiches ist scharf begrenzt und hängt stark von der Dämpfung der Kreise ab, so daß leitende Verunreinigungen sofort erkennbar sind. Bei den untersuchten Lösungen war die Breite des Mitführungsbereiches immer dieselbe wie bei Luft.

Für die Messung der Brechungsindizes wurde ein Pulfrich-Abbesches Refraktometer benützt, während die Dichten pyknometrisch bestimmt wurden.

Tabelle I

Verbindung	M_2	c_v	$\varepsilon_{12} - \varepsilon_1$	$\frac{\varepsilon_{12} - \varepsilon_1}{c_v}$	n_2	d_2	μ
Diphenylmethan (I) ...	168,1	0,07832	0,02197	0,2807	1,5745[2])	1,0024[2])	$0{,}33_5 \pm 0{,}02$
1,2-Diphenyläthan (II) ...	182,11	0,07490	0,02486	0,3319	1,5704[2])	0,9876[2])	$0{,}45_5 \pm 0{,}02$
		0,04254	0,01367	0,3213			
1,3-Diphenylpropan (III) ..	196,13	0,06061	0,02416	0,3986	1,5782	0,9930	$0{,}55 \pm 0{,}02$
		0,09139	0,03666	0,4011			
1,4-Diphenylbutan (IV) ...	210,14	0,04798	0,01359	0,2833	1,5493[3])	0,9719[3])	$0{,}52 \pm 0{,}02$
1,5-Diphenylpentan (V) ...	224,16	0,04624	0,01109	0,2398	1,5457	0,9601	$0{,}48 \pm 0{,}03$
1,6-Diphenylhexan (VI) ...	238,17	0,06830	0,01555	0,2277	1,5380	0,9528	$0{,}52 \pm 0{,}02$
1,8-Diphenyloktan (VII) ..	266,2	0,08093	0,01440	0,1779	1,5298	0,9364	$0{,}50 \pm 0{,}02$
1,3,5-Triphenylpentan (IV) ..	300,19	0,04802	0,02973	0,6192	1,5770	1,0180	$0{,}98_5 \pm 0{,}02$
1,3,5,7-Tetraphenylheptan (IV)	404,25	0,04846	0,04871	1,0050	1,5960	1,0452	$1{,}51 \pm 0{,}02$
1,5,9-Triphenylnonan (IV) ..	356,25	0,03593	0,01450	0,4037	1,5580	0,9955	$0{,}85 \pm 0{,}03$

(I) Bezogen von Schering-Kahlbaum, Berlin.

(II) Sehr reines, mehrfach fraktioniertes Produkt. Hergestellt durch Reduktion von Benzil nach Clemmensen.

(III) Hergestellt aus Dibenzylketon nach L. Wolff, Ann. d. Chem. **394**, 86, 1912.

(IV) Diese Verbindungen verdanke ich der Freundlichkeit von Herrn Prof. Dr. H. Staudinger, Freiburg i. Br. Vgl. hierzu H. Staudinger und A. Steinhofer, Ann. d. Chem. **517**, 35, 54, 1935.

(V) Hergestellt aus Cinnamalacetophenon, Hydrierung zum gesättigten Keton und anschließende Clemmensen-Reduktion.

(VI) Hergestellt durch katalytische Hydrierung von Diphenylhexatrien, letzteres nach Kuhn und Winterstein, Helv. chim. acta **11**, 160, 1928.

(VII) Hergestellt durch katalytische Hydrierung von Diphenyloktatetraen. Vgl. Kuhn und Winterstein, l. c.

1) Vgl. L. Hartshorn und D. A. Oliver, Proc. Roy. Soc. **123**, 684, 1928.

2) Im unterkühlten Zustand gemessen.

Meßergebnisse und ihre Diskussion

Bei allen Messungen war die polare Substanz in Benzol gelöst. Die Tabelle I enthält die Daten sämtlicher untersuchten Verbindungen bei 25° C. Bei 1,2-Diphenyläthan und 1,3-Diphenylpropan sind die Meßwerte für zwei verschiedene Konzentrationen angegeben. Die Verhältnisse $\frac{\varepsilon_{12}-\varepsilon_1}{c_v}$ sind innerhalb der Meßfehler konstant.

Das Moment der ersten sieben Verbindungen nähert sich mit wachsender Kettenlänge sehr rasch einem Grenzwert von $\sim 0{,}5\ D$ (s. Fig. 4). Bei starrer Zickzackform der Moleküle sollte man erwarten, daß geradgliedrige Ketten wegen der gegenseitigen Kompensation der Teilmomente das Moment 0, ungeradgliedrige Ketten dagegen ein Moment der Größenordnung $0{,}5\ D$ aufzuweisen hätten. Mit wachsender Kettenlänge sollte dann bei den ungeradgliedrigen Molekülen das Moment noch etwas zunehmen, da die gegenseitige Abstoßung der endständigen Substituenten, die eine Vergrößerung des Valenzwinkels zur Folge hat, immer mehr abnimmt. Das Meßergebnis zeigt, daß bei der Temperatur 25° C die Amplituden der Drehschwingungen aller Verbindungen bereits so groß sind, daß die Moleküle

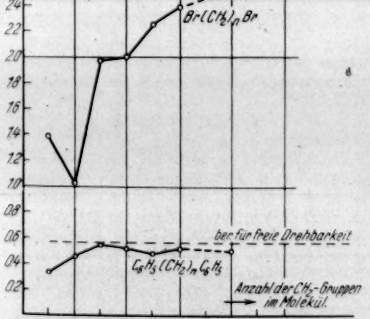


Fig. 4. Elektrische Momente der Reihen $Br(CH_2)_n Br$ und $C_6H_5(CH_2)_nC_6H_5$.

polar erscheinen. Beim Diphenylmethan wird offenbar das Moment noch durch die Spreizung des Valenzwinkels etwas verkleinert. Unter Zugrundelegung des Tetraederwinkels und des elektrischen Moments von Toluol mit $\mu = 0{,}4\ D$ hätte man ein Moment von $2 \cdot 0{,}4 \cos (^{110}/_{2})^\circ = 0{,}46\ D$ zu erwarten. Dieser Einfluß scheint jedoch bereits beim 1,3-Diphenylpropan aufgehört zu haben. Ebenso scheint von dort ab vollkommen freie Drehbarkeit der polaren Gruppen vorzuliegen, da ein Kleinerwerden des Moments bei den folgenden geradgliedrigen Molekülen nicht mehr stattfindet. Das kleine Moment des 1,2-Diphenyläthans läßt sich durch eine Behinderung der freien Rotation infolge der Höhe des Potentialwalls deuten. Berechnet man den zu erwartenden Momentwert der Molekülreihe

$$C_6H_5(CH_2)_nC_6H_5$$

für freie Drehbarkeit um alle C-C-Bindungen nach der Beziehung $\overline{\mu}^2 = 2\,\mu^2$ [1]) für $\mu_{\text{Toluol}} = 0{,}4\ D$, so ergibt sich $\overline{\mu} = 0{,}56_5\ D$. Ist dagegen die CH_2-Kette starr, und drehen sich lediglich die Endgruppen frei, so ist von ihrem Moment nur die zur Molekülachse senkrecht stehende Komponente zu berücksichtigen. Der oben erhaltene Wert ist daher noch mit sin 35° zu multiplizieren und ergibt dann $0{,}32_5\ D$. Der erste Wert stimmt verhältnismäßig gut mit den Meßergebnissen überein, während der zweite vollkommen herausfällt. Man darf daraus schließen, daß bei genügender Länge die CH_2-Ketten der Paraffine in sich beliebig verdrehbar sind.

Es ist interessant, hiermit die Verhältnisse bei ähnlich gebauten Verbindungen zu vergleichen. Bei der Reihe $Br(CH_2)_nBr$ (vgl. Fig. 4) steigt ebenfalls das Moment mit wachsender Molekülläge bis zu einem Grenzwert, der freier Drehbarkeit entspricht [2]). Doch wird dieser Maximalwert, offenbar der stärkeren Polarität der Halogenbindung wegen, erst bei viel größerer Molekülläge erreicht. Der Anstieg erfolgt auch nicht stetig, sondern mehr treppenförmig und läßt also noch die oben angedeutete Abhängigkeit des Moments von der Gerad- und Ungeradzahligkeit der Kettenglieder erkennen. Sie entspricht einem Alternieren des Momentwertes, das zwar durch die großen Amplituden der Drehschwingungen nur schwach zum Ausdruck kommt, aber wegen der starken Polarität der Brombindung doch deutlich hervortritt.

Auch die drei letzten der untersuchten Verbindungen bestätigen die gezogenen Schlüsse. Beim 1,3,5-Triphenylpentan und 1,3,9-Triphenylnonan wäre zwar auch bei starrer Molekülform ein Moment zu erwarten, dagegen sollten sich beim 1,3,5,7-Tetraphenylheptan die vier Phenylbindungen, ähnlich wie die Wasserstoffbindungen beim Methan, gegenseitig aufheben. Die großen Momentwerte bei allen drei Verbindungen sprechen dafür, daß sich bei der Messung

1) Vgl. L. Ebert, Leipziger Vorträge, S. 44, 1929.
2) Die Zahlen sind entnommen aus O. Fuchs und K. L. Wolf, Dielektrische Polarisation, S. 403, Tabelle 36, Leipzig 1935.

nicht das Molekül als Ganzes mit seiner durch die Temperaturbewegung mehr oder weniger verdrehten Achse in die Feldrichtung einstellt, sondern daß jede einzelne polare Gruppe nahezu unabhängig von der anderen diesem Bestreben nachkommt.

Zusammenfassung

Mit Hilfe einer Schwebungsapparatur wurden die Dielektrizitätskonstanten einiger gesättigter Kohlenwasserstoffe mit Phenylsubstituenten bestimmt und daraus die elektrischen Momente der Verbindungen errechnet. Die Ergebnisse zeigen, daß schon bei geringem Abstand der Substituenten praktisch keine gegenseitigen Beeinflussungen mehr vorliegen, so daß die polaren Gruppen frei rotieren können, und die CH_2-Ketten in sich verdrehbar sind. Außerdem scheint eine unter sich unabhängige Einstellung der Substituenten in die Richtung des elektrischen Meßfeldes stattzufinden.

Herrn Geh.-Rat Prof. Dr. G. Mie, Herrn Prof. Dr. W. Kast und Herrn Dozent Dr. E. Plötze danke ich herzlich für die Anregung und Förderung dieser Arbeit, ebenso Herrn Dozent Dr. W. Kern vom hiesigen Chemischen Institut für die freundliche Überlassung eines Teiles der organischen Substanzen sowie für viele wertvolle Ratschläge. Herrn Prof. Dr. E. G. Steinke bin ich für die Überlassung der Institutsmittel zu Dank verpflichtet.

Freiburg i. Br., Physikalisches Institut der Universität, November 1937.

(Eingegangen 8. Januar 1938)

Über die Einwirkung von Ultraschallwellen auf Lösungen hochpolymerer Substanzen

Von Erich Thieme

Einleitung

Schon seit längerer Zeit ist die Beeinflussung der Zähigkeit von Gelen und Solen hochpolymerer Substanzen Gegenstand von Untersuchungen. So stellt A. Tian[1] fest, daß durch ultraviolette Strahlung Gelatinegallerten verflüssigt werden. Andere Autoren, wie A. Fernau[2] und H. Q. Woodard[3], untersuchen die Einwirkung von Röntgenstrahlen auf Sole. Aus neuerer Zeit stammen nun Veröffentlichungen über die Einwirkung von Ultraschallwellen auf solche Substanzen[1][2][3]. So zeigt A. Szalay[3] in seiner Arbeit „Die Zerstörung von hochpolymeren Verbindungen mittels Ultraschallwellen", daß bei einer Lösung von Gummi arabikum die Zähigkeit exponentiell mit der Bestrahlungsdauer fällt, und nimmt dabei Proportionalität zwischen Zähigkeit und Molekulargewicht an. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt er bei der Untersuchung von Gelatinelösung. In einer anderen Arbeit „Intensitätsbestimmungen zur Erklärung der depolymerisierenden Wirkung der Ultraschallwellen"[4] versucht Szalay eine Deutung dieses Vorganges. Er stellt darin fest, daß bei Stärke Depolymerisation sowohl durch Ultraschallwellen als auch durch Erhitzen auf 160° C erreicht wird. Die Intensität der Ultraschallwellen bestimmt er kalorimetrisch und kommt zu folgendem Ergebnis: Die Energie der zur Depolymerisation ausreichenden Ultraschallwellen entspricht einer Temperaturerhöhung von etwa 0,01° C. Nach dem Äquipartitionsprinzip der kinetischen Gastheorie ist die mittlere Energie eines Kolloidteilchens gleich der mittleren Energie eines Moleküls des Lösungsmittels. Entsprechend der größeren Masse ist deshalb die mittlere Geschwindigkeit der Kolloidteilchen bedeutend geringer. Die Weg- und Geschwindigkeitsamplituden beider Molekülarten sind jedoch bei der gerichteten Bewegung der Ultraschallwellen etwa gleich, d. h. aber, die kinetische Energie der Kolloidteilchen ist hier wesentlich größer. Szalay schließt daraus, daß als Ursache der depolymerisierenden Wirkung der Ultraschallwellen vor allem die Bewegung der Kolloidteilchen und möglicherweise die bei den Ultraschallwellen auftretende extrem hohe Beschleunigung in Frage kommt.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es nun, die Zähigkeitsänderungen durch Ultraschallwellen in Lösungen hochpolymerer Stoffe systematisch zu untersuchen, um an Hand der Ergebnisse zu einer Stellungnahme zu der Szalayschen Deutung dieses Vorganges zu gelangen. Die Untersuchungen sind durchgeführt an Lösungen von Gelatine, Agar-Agar und Gummi arabikum.

Versuchsanordnung

Die Ultraschallwellen werden erzeugt von einem Piezoquarz von etwa 300 kHz Eigenfrequenz, der durch Anlegen einer von einem

1) A. Tian, Compt. rend. **151**, 219, 1910.
2) A. Fernau, Biochem. Zeitschr. **102**, 246, 1920.
3) H. Q. Woodard, Journ. phys. Chem. **36**, 2543, 1932.

1) N. Marinesco, Compt. rend. **194**, 1824, 1932.
2) Paic M. P. Haber, J. Voet und A. Eliasz, C. R. Soc. Biol. **119**, 1061, 1935.
3) A. Szalay, Zeitschr. f. physik. Chem. (A) **164**, 234, 1933.
4) A. Szalay, Physik. Zeitschr. **35**, 293, 1934.

elektrischen Sender gelieferten Wechselspannung gleicher Frequenz zum Schwingen erregt wird. Das 1-kW-Senderohr S ist, wie Fig. 1 zeigt, in

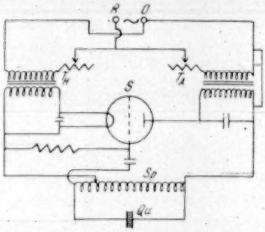


Fig. 1. Schaltskizze.

Dreipunktschaltung angeordnet. Die Heizspannung beträgt 16 Volt, der Heizstrom 8 Amp., die Anodenspannung 10000 Volt. T_H ist der Transformator für die Heizspannung, T_A für die Anodenspannung. Die Spule Sp bildet mit dem Quarz Qu den Schwingkreis. Fig. 2 zeigt den

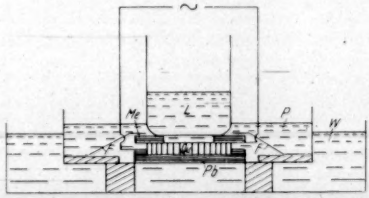


Fig. 2. Mechanischer Teil der Apparatur.

mechanischen Teil der Anordnung. Der Piezoquarz Qu liegt in Paraffinöl P. Seinen unteren Belag bildet eine Bleiplatte Pb, seinen oberen ein Messingring Me, der durch Federn F fest gegen den Quarz und die Bleiplatte gepreßt wird. Die Schwingungen des Quarzes werden durch das Paraffinöl auf das Gefäß übertragen, in dem sich die Versuchslösung L befindet. Die durch die Quarzschwingungen bedingte Erwärmung des Paraffinöls und der Versuchslösung wird kompensiert durch ein Wasserbad W, bzw. durch eine Kühlschlange. Die Temperatur der Versuchslösung kann dadurch innerhalb gewisser Grenzen reguliert bzw. konstant gehalten werden.

Die Zähigkeit der Lösungen wurde relativ mittels eines Kapillarviskosimeters gemessen[1]), die Temperatur wurde reguliert durch einen Thermostaten mit $\pm 0{,}02°$ C Temperaturkonstanz. Die Fließzeiten waren innerhalb dieses Temperaturbereiches sehr gut reproduzierbar, der Fehler lag unterhalb der Grenzkonzentration[1]) unter 0,5 Proz., oberhalb derselben stieg er mit der Konzentration bis zu 2 Proz. an. Das Anwachsen des Fehlers wird durch die Temperaturkonstanz des Thermostaten bedingt, da die Zähigkeit mit wachsender Konzentration immer temperaturempfindlicher wird. Die Fließzeiten wurden deshalb bei höheren Konzentrationen über zwei bis drei Werte gemittelt.

Arbeitsweise

Da die Zähigkeit von Gelatinelösung mit der Zeit zunimmt, mußten zur Erzielung vergleichbarer und reproduzierbarer Ergebnisse bei der Bereitung der Lösungen und beim Messen der Fließzeiten immer die gleichen Bedingungen eingehalten werden. Es wurde deshalb folgendermaßen verfahren: Die abgewogene Menge wurde in einen Meßkolben eingetragen, mit etwas weniger als der erforderlichen Menge Wasser übergossen und nach 15 Minuten unter dauerndem Umschwenken innerhalb von weiteren 15 Minuten auf 75° C erhitzt. Diese Erwärmung blieb ohne Einfluß auf die Zähigkeit der Lösungen[2]). Nach dem Abkühlen wurde die Lösung aufgefüllt, zur Hälfte in das Viskosimeter gebracht und dort temperiert. Nach 30 Minuten wurde dann die Fließzeit gemessen. Die andere Hälfte der Lösung wurde während dieser Zeit mit Ultraschallwellen bestrahlt. Obwohl die Zähigkeit der behandelten Lösung später gemessen wurde — auch sie wurde 30 Minuten im Viskosimeter temperiert — waren die Ergebnisse doch miteinander vergleichbar, weil nämlich die behandelte Lösung langsamer altert als die unbehandelte. So beträgt z. B. die Zunahme der Zähigkeit einer 0,5prozentigen Gelatinelösung — wie Fig. 3 zeigt — nach 60 bzw. 120 Minuten

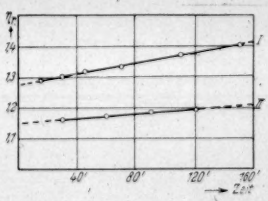


Fig. 3. Alterung einer 0,5prozentigen Gelatinelösung. I unbehandelt, II nach 30 Minuten Bestrahlungsdauer. Fließtemperatur 24° C.

1) Unter „Grenzkonzentration" wird die Konzentration verstanden, bei der eine Sollösung in eine Gellösung übergeht, wie sie von H. Staudinger in „Die hochmolekularen organischen Verbindungen Kautschuk und Zellulose" definiert ist.

2) Clark E. Davis und Henry M. Salisbury, K. Z. **49**, 270, 1929.

1) Clark E. Davis und Henry M. Salisbury, K. Z. **49**, 270, 1929.

2 Proz. bzw. 5,7 Proz., die derselben Lösung nach einer Bestrahlungsdauer von 30 Minuten 0,9 Proz. bzw. 2,8 Proz.

Die Temperatur der Versuchslösung stieg während einer Bestrahlungsdauer von 30 Minuten ohne Kühlung auf 70° C, bei längerer Dauer auf etwa 90° C an. Wie schon erwähnt wurde und wie sich im Verlauf der Untersuchungen zeigte, ist die Temperatur bis zu dieser Grenze ohne Einfluß auf die Zähigkeit und auf die Zähigkeitsänderung. Wenn trotzdem die Temperatur der Versuchslösung durch Kühlung auf 23–25° C gehalten wurde, so nur, um Verluste durch Verdunstung zu vermeiden.

Bei der Berechnung der Zähigkeiten aus den Fließzeiten wurde die Änderung der Dichte mit der Konzentration der Lösungen vernachlässigt. Während nämlich z. B. die Fließzeiten von Gelatinelösung von der Konzentration 1 g/l bis 25 g/l um 200 Proz. zunehmen, steigen die Dichten dieser Lösungen nur um etwa 1 Proz. an. Der Unterschied der Zähigkeiten beträgt bei einer Konzentration von 24 g/l, mit und ohne Berücksichtigung der Dichte, 1,1 Proz. Das ist ein Fehler, der bei dieser Konzentration noch innerhalb der oben für die Fließzeiten angegebenen Fehlergrenze liegt. Auf dieselbe Art wurde mit den Agar-Agar- und Gummi arabikumlösungen verfahren.

Versuchsergebnisse

A. Gelatine

Die Messung an Gelatinelösung ist durchgeführt mit einer Emulsionsgelatine für photographische Zwecke.

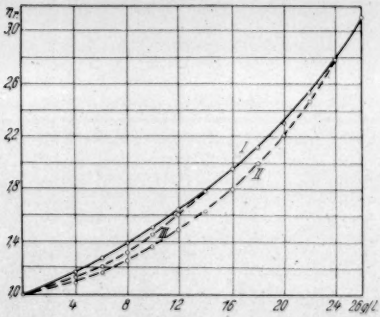


Fig. 4. Abhängigkeit der Zähigkeit der Gelatinelösungen von der Konzentration. Bestrahlungsdauer 30 Minuten. I unbehandelt, II volle Quarzleistung, III 44 Proz. der vollen Quarzleistung. Fließtemperatur 30° C.

Zunächst wurde die Abhängigkeit der Zähigkeit von der Konzentration bei einer Fließtemperatur von 30° C untersucht (Fig. 4). Die Kurve I zeigt die Abhängigkeit bei einer unbehandelten Lösung. Die Kurven II und III sind aufgenommen nach einer Bestrahlungsdauer von

Fig. 5. Abhängigkeit des Zähigkeitsverlustes der Gelatinelösungen von der Konzentration. Bestrahlungsdauer 30 Minuten. II volle, III 44 Proz. der vollen Quarzleistung. Fließtemperatur 30° C.

je 30 Minuten, und zwar Kurve II bei voller Leistung des Quarzes – etwa 180 Watt – und Kurve III bei 44 Proz. dieser Leistung, also bei etwa 80 Watt. Die Kurve I zeigt den bekannten Verlauf mit anfangs linearem, dann exponentiellem Anstieg. Wie aus den Kurven II und III dieser Figur hervorgeht, ist es zwecklos bei noch höheren Konzentrationen zu messen, da von der Konzentration 24 g/l bzw. 14 g/l an die Ultraschallwellen nicht mehr verändernd auf die Lösungen einwirken. Die Abnahme der Zähigkeit in Prozenten in Abhängigkeit von der Konzentration ist in Fig. 5 dargestellt, und zwar wieder in Kurve II bei voller, in Kurve III bei 44 Proz. der vollen Quarzleistung. Die Maxima der Zähigkeitsverluste liegen bei Kurve II (180 Watt) bei der Konzentration 10 g/l, bei Kurve III (80 Watt) bei 7 g/l. Die Wirkung der

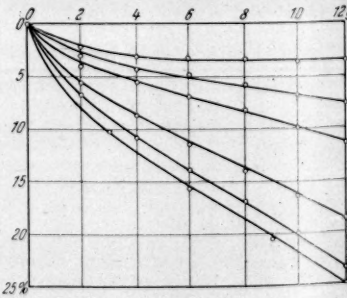


Fig. 6. Abhängigkeit des Zähigkeitsverlustes der Gelatinelösungen von der Konzentration. Parameter: Bestrahlungsdauer. Fließtemperatur 24° C.

Ultraschallwellen ist also einmal abhängig von der Konzentration, dieser Zusammenhang wird aber durch die Änderung der Energie der Ultraschallwellen wesentlich beeinflußt, zum anderen sehr stark abhängig von der Energie der Ultraschallwellen.

Fig. 6 zeigt den Zähigkeitsverlust in Prozenten in Abhängigkeit von der Konzentration mit der Bestrahlungsdauer als Parameter, und zwar bei einer Fließtemperatur von 24° C. Bei diesen Meßreihen ist die Konzentration, bei der die Wirkung der Ultraschallwellen verschwindet, wie das Fig. 5 zeigt, noch nicht erreicht. Auch das Maximum des Zähigkeitsverlustes ist hierbei noch nicht überschritten. Nach einer Bestrah-

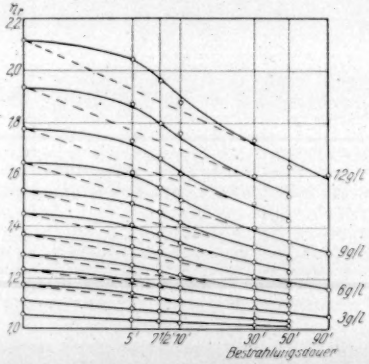


Fig. 7. Abhängigkeit der Zähigkeit der Gelatinelösungen von der Bestrahlungsdauer in logarithmischer Darstellung. Parameter: Konzentration. Fließtemperatur 24° C.

lungsdauer von 90 Minuten ist also die Zähigkeit bis zu 25 Proz. gesunken.

In Fig. 7 ist die Zähigkeit in Abhängigkeit vom Logarithmus der Bestrahlungsdauer mit der Konzentration als Parameter aufgetragen. Der Zähigkeitsabfall ist in dem Intervall zwischen 5 und 30 Minuten besonders stark. In Szalays Angaben fehlt dieses Intervall. Er mißt die Zähigkeit erst nach 1 bzw. 2 Stunden Bestrahlungsdauer; seine Meßpunkte würden in logarithmischer Darstellung eine Gerade ergeben. Die Kurven der Fig. 7 gehen dagegen erst nach längerer Bestrahlungsdauer in Geraden über, auf denen die Punkte liegen würden ohne Berücksichtigung der Meßpunkte bei 5, 7½ und 10 Minuten Bestrahlungsdauer. Die Zähigkeit nimmt also erst nach längerer Einwirkung der Ultraschallwellen exponentiell mit der Bestrahlungsdauer ab.

B. Agar-Agar

Als nächste Substanz wurde Agar-Agarlösung nach demselben Schema wie Gelatinelösung untersucht. Jedoch reichten zum Lösen von Agar-Agar Temperaturen von 75° C nicht aus. Die gequollene Substanz mußte hier auf 100° C erhitzt werden. Da die Zähigkeit von Agar-Agarlösung ungleich größer ist als die von Gelatinelösung – die Zähigkeit einer Agar-Agarlösung von der Konzentration 2 g/l entspricht etwa derjenigen einer Gelatinelösung von der Konzentration 12 g/l – wurden die Untersuchungen der Agar-Agarlösungen nur bis zu der Konzentration 2 g/l ausgedehnt. Dieses Konzentrationsintervall ist hinreichend groß, um alles Wesentliche erkennen zu lassen. Die Kurvenscharen wurden bei einer Fließtemperatur von 30° C aufgenommen.

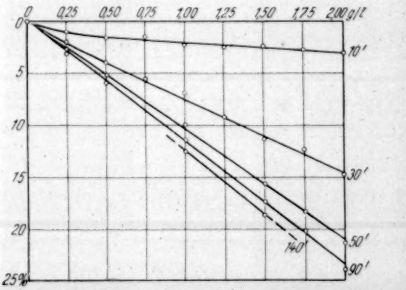


Fig. 8. Abhängigkeit des Zähigkeitsverlustes der Agar-Agarlösungen von der Konzentration. Parameter: Bestrahlungsdauer. Fließtemperatur 30° C.

In Fig. 8 ist der Zähigkeitsverlust in Prozenten in Abhängigkeit von der Konzentration mit der Bestrahlungsdauer als Parameter aufgetragen. Man sieht aus dem Verlauf der Kurven, daß die Konzentration, bei der die Wirksamkeit der Ultraschallwellen aufhört, noch nicht erreicht und auch das Maximum des Zähigkeitsverlustes noch nicht überschritten ist. Auch hier beträgt der Zähigkeitsverlust wie bei Gelatinelösung nach 90 Minuten Bestrahlungsdauer etwa 25 Proz. Jedoch ist hier diese Abnahme bei der Konzentration 2 g/l erreicht, während sie bei Gelatinelösung der Konzentration 12 g/l zugeordnet ist. Auf diese Zusammenhänge soll jedoch erst später eingegangen werden.

In Fig. 9 ist die Zähigkeit in Abhängigkeit vom Logarithmus der Bestrahlungsdauer mit der Konzentration als Parameter dargestellt.

Hier zeigen die Kurven eine noch größere Abweichung von der Geraden als bei Gelatinelösung. Sie gehen aber ebenfalls nach längerer

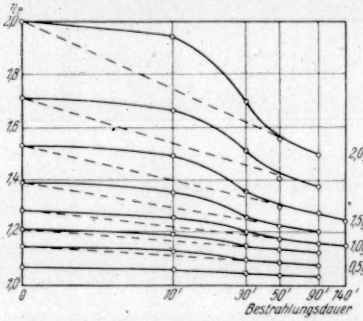


Fig. 9. Abhängigkeit der Zähigkeit der Agar-Agarlösungen von der Bestrahlungsdauer in logarithmischer Darstellung. Parameter: Konzentration. Fließtemperatur 30° C.

Betrahlungsdauer in Geraden über (experimenteller Verlauf), wie sie sich bei Nichtberücksichtigung der Meßpunkte bei 10 und 30 Minuten Bestrahlungsdauer ergeben würden.

C. Gummi arabikum

Als dritte Substanz wurde ein Harz – Gummi arabikum – untersucht. Die Lösungen wurden nach dem für Gelatinelösung angegebenen Schema behandelt.

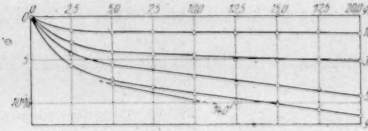


Fig. 10. Abhängigkeit des Zähigkeitsverlustes der Gummi arabikum-Lösungen von der Konzentration. Parameter: Bestrahlungsdauer. Fließtemperatur 24° C.

Fig. 10 zeigt den Zähigkeitsverlust in Prozenten in Abhängigkeit von der Konzentration mit der Bestrahlungsdauer als Parameter. Im Gegensatz zu den vorigen biegen die Kurven hier alle deutlich um und lassen so die Nähe der Konzentration mit dem maximalen Zähigkeitsverlust erkennen. Man sieht weiter, daß die Wirkung der Ultraschallwellen auf Gummi arabikum viel schwächer ist als auf Gelatine und Agar-Agar. Der Verlust beträgt etwa 10 Proz. nach 90 Minuten Bestrahlungsdauer bei der Konzentration 14 g/l, bei Gelatinelösung entsprechend über 25 Proz. Auch in Fig. 11, in der die Zähigkeit in Abhängigkeit vom Logarithmus der Bestrahlungsdauer aufgetragen ist, läßt sich das erkennen. Die Abweichungen der einzelnen Kurven von der Geraden sind geringer als bei Gelatine und Agar-Agar.

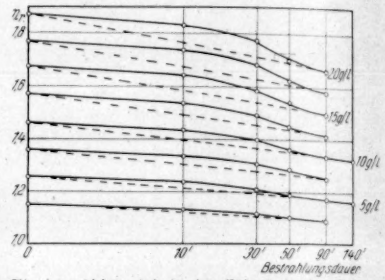


Fig. 11. Abhängigkeit der Zähigkeit der Gummi arabikum-Lösungen von der Bestrahlungsdauer in logarithmischer Darstellung. Parameter: Konzentration. Fließtemperatur 24° C.

Vergleich der Ergebnisse

Bei den drei untersuchten Substanzen zeigt die Abhängigkeit der Zähigkeit von der Bestrahlungsdauer dieselbe Abweichung vom exponentiellen Verlauf der Kurven in dem Intervall zwischen 5 und 30 bzw. 50 Minuten. Bei Agar-Agar tritt diese Abweichung am stärksten hervor. Für Gelatine und Gummi arabikum beträgt sie bei der Konzentration 2 g/l und einer Bestrahlungsdauer von 10 Minuten etwa 1 Proz., für Agar-Agar dagegen 9,8 Proz. Man könnte diese Tatsache damit zu erklären versuchen, daß der Quarz eine bestimmte Zeit braucht, um sich einzuschwingen bzw. zur vollen Schwingleistung zu kommen. Daß das aber nicht der Grund für diese Abweichungen ist, zeigen folgende Versuche: Die Versuchslösungen wurden einmal sofort nach dem Einschalten des Senders 5 bzw. 10 Minuten bestrahlt, zum anderen erfolgte die Bestrahlung erst 30 Minuten nach dem Einschalten des Senders. In beiden Fällen ergab sich für die Lösungen dieselbe Zähigkeitsabnahme. Das bedeutet aber, daß nicht die geringe Quarzleistung kurz nach dem Einschalten für diesen Effekt maßgebend ist, sondern daß der Grund dafür in dem Verhalten der Kolloidteilchen gegenüber den Ultraschallwellen zu suchen sein muß.

In Fig. 12 sind die Zähigkeits-Konzentrationsdiagramme von Gummi arabikum I, Gelatine II und Agar-Agar III bei einer Fließtemperatur von 30° C zusammengestellt. Aus diesen Kurven lassen sich nun Schlüsse ziehen auf die Molekulargewichte der drei Substanzen. In der

Literatur werden u. a. für das Molekulargewicht für Gelatine folgende Werte angegeben[1]): $M = 20000$ für 30° C, $M = 24000$ für 25° C und $M = 44000$ für 18° C. Eigene Versuche mit dem Osmometer von G. V. Schulz[2]) ergaben für die untersuchte Gelatine im Mittel ein Molekulargewicht von 25000 bei 24° C. Dieser Wert stimmt mit den oben angeführten gut überein. Nimmt man nun Proportionalität zwischen Zähigkeit und Molekulargewicht an, so ergibt sich unter Zugrundelegung des oben festgestellten Wertes für Gelatine als Molekulargewicht für Gummi arabikum etwa 23500 und für Agar-Agar etwa 150000 bei 24° C. Die polymerisierende Wirkung der Ultraschallwellen müßte sich ja nun auch durch Molekulargewichtsbestimmungen nachweisen lassen. Wie oben schon erwähnt, wurde zur Bestimmung des Molekulargewichts von Gelatine ein Osmometer von G. V. Schulz benutzt. Um dabei zu einfachen Beziehungen zu kommen, wurden die Messungen unterhalb der Grenzkonzentration durchgeführt. Oberhalb derselben werden sich auch hier infolge der größeren Dichte der Kolloidteilchen Abweichungen zeigen. Leider sind die Versuche an der geringen Genauigkeit der Osmometermethode gescheitert. Die Messungen an Gelatinelösung von der Konzentration 2,5 g/l weisen Abweichungen auf bis zu 9,5 Proz. Der Zähigkeitsverlust beträgt aber bei dieser Konzentration nach 90 Minuten Bestrahlungsdauer

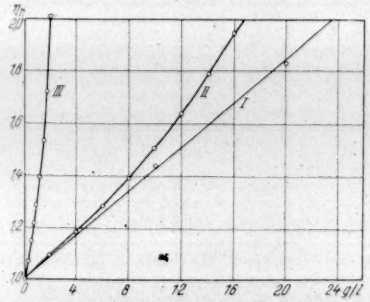


Fig. 12. Abhängigkeit der Zähigkeit von der Konzentration für Gummi arabikum I, Gelatine II und Agar-Agar III. Fließtemperatur 30° C.

8 Proz. Eine Abnahme des Molekulargewichts um denselben Prozentsatz wird sich also damit nicht nachweisen lassen.

1) Max Frankel, Biochem. Zeitschr. **240**, 149, 1931.

2) G. V. Schulz, Zeitschr. f. physik. Chem. (A) **176**, 317, 1936.

In Fig. 13 ist zum Vergleich die Wirkung der Ultraschallwellen auf die drei untersuchten Substanzen unter gleichen Bedingungen dargestellt.

Fig. 13. Abhängigkeit des Zähigkeitsverlustes von der Konzentration für Gummi arabikum I, Gelatine II und Agar-Agar III. Bestrahlungsdauer je 30 Minuten. Fließtemperatur 30° C.

Die Figur zeigt den Zähigkeitsverlust in Prozenten in Abhängigkeit von der Konzentration bei einer Fließtemperatur von 30° C nach einer Bestrahlungsdauer von je 30 Minuten (Kurve I Gummi arabikum, II Gelatine, III Agar-Agar). Aus dieser Abbildung geht klar hervor, daß die Wirkung der Ultraschallwellen mit wachsender Zähigkeit und – was gleichbedeutend damit ist – mit wachsendem Molekulargewicht zunimmt. Wie man weiter aus dem Verlauf der Kurven schließen kann, liegt das Maximum des Zähigkeitsverlustes für Gummi arabikum bei höheren Konzentrationen als bei Gelatine, während es bei Agar-Agar bei kleineren Konzentrationen liegen könnte; es scheint also mit wachsendem Molekulargewicht nach kleineren Konzentrationen zu rücken.

Deutung der Versuchsergebnisse

Wie eingangs schon erwähnt wurde, nimmt Szalay als Ursache der depolymerisierenden Wirkung der Ultraschallwellen die Bewegung der Kolloidteilchen an, ohne dabei etwas über den Vorgang der Zerspaltung der Molekülaggregate auszusagen.

Aus der Tatsache, daß die Wirkung der Ultraschallwellen konzentrationsabhängig ist, könnte man zu folgender Vorstellung über den Vorgang der Zerschlagung der Molekülaggregate kommen: Wie Szalay darlegt, wird den Kolloidteilchen durch die Bewegung der Ultraschallwellen eine ihrer Masse entsprechende hohe kinetische Energie vermittelt, so daß also die Zusammenstöße viel heftiger sein werden als ohne die Einwirkung der Ultraschallwellen und zu Zertrümmerungen der Molekülaggregate führen können. In sehr verdünnten Lösungen, also bei geringerer Dichte der Kolloidteilchen, werden die Zusammenstöße weniger häufig sein als in konzentrierten Lösungen. Die Wirkung wird also mit

wachsender Konzentration zunehmen, aber über ein Optimum gehen, da schließlich die freie Weglänge der Teilchen immer kleiner wird, je höher die Konzentration wird. Der Bewegung der Kolloidteilchen steht also eine immer kleiner werdende Beschleunigungsstrecke zur Verfügung und die Zusammenstöße werden weniger heftig. Und schließlich wird die Beschleunigungsstrecke so klein, daß die Zusammenstöße keine Zertrümmerung mehr bewirken können.

Auch die Tatsache, daß die Wirkung der Ultraschallwellen mit zunehmendem Molekulargewicht wächst, und daß das Maximum des Zähigkeitsverlustes mit wachsendem Molekulargewicht nach kleineren Konzentrationen rückt – wie nach Fig. 13 angenommen werden kann – läßt sich mit dieser Ansicht erklären. Je größer nämlich das Molekulargewicht ist, bzw. je höher der Polymerisationsgrad der Kolloidteilchen ist, um so größer ist (nach Szalay) ihre kinetische Energie und um so größer wird auch die Wahrscheinlichkeit sein, daß sie bei Zusammenstößen in kleinere Molekülaggregate aufgespalten werden. Außerdem wird bei größeren Molekülaggregaten die freie Weglänge mit wachsender Konzentration schneller abnehmen und entsprechend wird die Wirkung der Ultraschallwellen auch bei geringeren Konzentrationen erlöschen, bzw. wird das Maximum des Zähigkeitsverlustes nach kleineren Konzentrationen rücken.

Ist nun die Leistung des Quarzes geringer, die Intensität der Ultraschallwellen also kleiner, so ist auch die kinetische Energie, die den Kolloidteilchen durch die Ultraschallwellen mitgeteilt wird, geringer. Zur Erreichung der gleichen kinetischen Energie ist dann eine größere Beschleunigungsstrecke nötig, so daß das Maximum des Zähigkeitsverlustes nach kleineren Konzentrationen rückt.

Zusammenfassung

Die Wirkung ultra-akustischer Schwingungen auf Lösungen hochpolymerer Substanzen wurde untersucht.

1. Ultraschallstrahlung setzt die Viskosität herab, und zwar in wachsendem Maße mit der Leistung des Quarzes.
2. Die Wirkung ist konzentrationsabhängig und geht über ein Maximum, das sich mit zunehmendem Molekulargewicht und abnehmender Leistung des Quarzes nach kleineren Konzentrationen verschiebt.
3. Die Wirkung wächst mit steigendem Molekulargewicht, das Maximum rückt dabei nach kleineren Konzentrationen.
4. Die Zähigkeit fällt nicht einfach exponentiell mit der Bestrahlungsdauer ab. Die Kurven weichen vielmehr bei kurzer Bestrahlungsdauer von einfachen Exponentialkurven ab, und zwar um so mehr, je größer das Molekulargewicht der behandelten Substanz ist. Erst nach längerer Bestrahlungsdauer gehen sie in Exponentialkurven über.

Diese Ergebnisse sind mit der Ansicht Szalays verträglich, der die Wirkung der Ultraschallwellen auf den Bewegungszustand der Kolloidteilchen zurückführt, in den sie unter dem Einfluß der Ultraschallwellen geraten. Die Wirkung nimmt mit wachsendem Molekulargewicht zu infolge der größer werdenden kinetischen Energie der Teilchen. Das Anwachsen der Wirkung mit der Konzentration läßt sich erklären durch die mit der Anzahl der Teilchen wachsende Stoßzahl; das Maximum der Wirkung wird erreicht, wenn die freie Weglänge gerade gleich der notwendigen Beschleunigungsstrecke ist.

Herrn Dr. B. Claus möchte ich für die Anregung zu dieser Arbeit und ihre stete Förderung bestens danken, desgleichen Herrn Prof. Dr. G. Hoffmann für sein reges Interesse und für die Überlassung der Institutsmittel. Herrn Prof. Dr. W. Kast danke ich für seine wertvolle Unterstützung beim Abschluß der Arbeit.

Halle a. d. S., Institut für experimentelle Physik der Universität, Februar 1938.

(Eingegangen 6. März 1938)

BESPRECHUNGEN

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

L. Bergmann, Schwingende Kristalle und ihre Anwendung in der Hochfrequenz und Ultraschalltechnik. Mathematisch-physikalische Bibliothek. 46 S. Mit 42 Abb. Leipzig, Verlag B. G. Teubner. Berlin 1937. RM 1.20.

Diese kleine Schrift bietet wohl hauptsächlich dem Pädagogen eine willkommene Einführung. Die Grundversuche, die zu den wichtigsten Erkenntnissen über den piezoelektrischen und den reziproken piezoelektrischen Effekt führen, sind in einleuchtender Weise so dargestellt, daß sie mit einfachen Mitteln auch in kleineren Laboratorien ausgeführt werden können. Weitere Abschnitte unterrichten über die Anwendungsmöglichkeiten der schwingenden Kristalle in Hochfrequenztechnik, Elektroakustik und Ultraschalltechnik, sowie über die Leistungsfähigkeit der Methodik in Wissenschaft und Technik. F. Rogowski.

Düsing-Schaefer, Lehrbuch der Experimental-Physik für technische Lehranstalten. Von Prof. Dr. K. Düsing. 6. Auflage, vollständig neu bearbeitet von Studienrat O. Schaefer, 222 S.. Mit 287 Abb. Leipzig 1937. Dr. Max Jänecke. RM 3.60.

Das vorliegende Lehrbuch zeichnet sich durch die Klarheit und Leichtfaßlichkeit aus, mit der die physikalischen Begriffe und Gesetze dargelegt werden. Diese Leichtfaßlichkeit wird erhöht durch interessante Bemerkungen und vergleichende Zahlen aus der Geschichte der Physik, wodurch dem Leser der lange und mühevolle Weg der physikalischen Forschung vor Augen geführt wird. Bei der Erörterung der physikalischen Gesetze werden technische Anwendungen und Anwendungsaufgaben aufgeführt. Dadurch wird das Lehrbuch für den angehenden Techniker besonders wertvoll. Es wäre für ihn wohl auch von Nutzen gewesen, wenn die Kapitel über elektromagnetische Wellen und über die neuere Anschauung bezüglich der Zusammensetzung der Elektrizität und der Materie noch etwas ausführlicher behandelt worden wären.

E. Münder.

Vorlesungsverzeichnis für das Sommerhalbjahr 1938

Technische Hochschule Aachen. **Starke:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 4; Übungen im physikalischen Laboratorium, 4 und 2. — **Wieselsberger:** Strömungslehre III, 2, Übungen, 1; Seminar über Fragen der Aerodynamik und Flugtechnik, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten in Aerodynamik und Flugtechnik, tägl. — **Kirschbaum:** Photographie I, 1, Übungen, 4; Einführung in die Lehre der Röntgenstrahlung, 1. — **Fucks:** Theorie der Elektrizität, 4, Rechnerische Übungen, 1; Quantentheorie, 2; Physikalisches Praktikum für Bauingenieure, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Nacken:** Ergänzungen zur Experimentalphysik, 1. — **Naumann:** Strömungslehre I, 2, Übungen, 1; Aerodynamisches Praktikum, 14tägig, 2. — **Werner:** Flugmeteorologie, 2. —

Universität Basel. **Hagenbach:** Experimentalphysik I, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl., für Anfänger, 8, für Mediziner und Ärzte (mit Wehrli), 2; Physikalisches Kolloquium (mit Zickendraht und Wehrli), 14tägig, 2 g. — **Matthies:** Theoretische Physik I, 4, Übungen, 1; Mechanik der Kontinua, 4, Übungen, 1; Mathematisch-physikalisches Seminar, 1. — **Zickendraht:** Hochfrequente Wechselströme I, 2, Praktikum, 3; Repetitorium der Elektrizitätslehre, 1. — **Zehnder:** Geschichte der Physik, neuere Zeit, 1; Der physikalische Aufbau der Lebewesen, 1. — **Bürki:** Photographische Chemie, 1; Photographisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 3, für Vorgerückte, 3. — **Erlenmeyer:** Gasanalytisches Praktikum, 1; Seminar über Probleme der chemischen Bindung (mit Wehrli und Miescher), 14tägig, 2 g; Übungen in der qualitativen Analyse für Mediziner (mit Fichter), 9. — **Wehrli:** Die experimentellen Grundlagen der Lichtquantentheorie, 1. — **Miescher:** Theoretische Spektroskopie: Termsystematik, 1. —

Universität Berlin. **Kolhörster:** Experimentalphysik II, 4; Besprechung von Arbeiten über Höhenstrahlung, 1; Arbeiten über Höhenstrahlung, für Fortgeschrittene, tägl. — **Stuart:** Theorie der Strahlung, 4, Übungen, 1; Anleitung zum selbständigen Arbeiten in experimenteller Physik, tägl. — **Henning:** Theoretische Thermodynamik, 4. — **Kohler:** Theorie der Wärme, 4, Übungen, 1. — v. **Weizsäcker:** Der atomare Aufbau der Materie, 2. — **Debye:** Molekulare Theorie der Flüssigkeiten, 2. — **Gehrcke:** Physikalisch-physiologische Optik, nach Vereinbarung. — **Grotrian:** Sonnenfinsternisbeobachtungen, 1; Spektroskopisches Praktikum (mit Schüler), 4; Spektroskopische Forschungsarbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Ritschl:** Magnetische und elektrische Erscheinungen in der Optik, 1 g. — **Justi:** Quantentheorie und Thermodynamik, 1; Physik und Technik der tiefen Temperaturen, 1 g. — **Schüler:** Einführung in die Atomphysik, 1; Atomphysikalische Forschungsarbeiten, tägl. — **Philipp:** Einführung in die Physik des Atomkerns, 1; Ausgewählte Kapitel der Kernphysik, 1. — **Verleger:** Korpuskularstrahlen, 1. — **Menzer:** Elektronenbeugung an Kristallen, 1. — **Schreiber:** Physik der Röntgenstrahlen, nach Vereinbarung. — v. **Auwers:** Lichtelektrischer Effekt, 1; Seminar für Experimentalphysik (mit Orthmann, Ritschl und Verleger), 2. — **Skaupy:** Einführung in die technische Physik II, 14tägig, 2. — **Trendelenburg:** Elektrische Meßmethoden auf den verschiedenen Gebieten der Physik, 1 g. — **Müller:** Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge, 3/4. — **Kiebitz:** Die physikalischen Grundlagen der Hochfrequenztechnik, 1. — v. **Laue:** Physikalisches Kolloquium, 2 g; Physikalisches Seminar, 2. — **Wehnelt:** Besprechung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Orthmann und Stuart), nach Vereinbarung g; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das naturwissenschaftliche Arbeiten, 3; Physikalisches Anfängerpraktikum, 7; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 8; Physikalische Forschungsarbeiten (mit Schumann und Orthmann), tägl.; Wehrphysikalische Forschungsarbeiten (mit Schumann und Becker), tägl. — **Schumann:** Physikalisches Praktikum II, nach Vereinbarung; Sprengstoffphysikalische Arbeiten, 2; Theoretisch-ballistische Forschungsarbeiten, tägl. — **Friedrich:** Radiologisches Praktikum: Licht, Röntgen, Radium (mit Risse und Schreiber), 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten auf dem Gebiete der Strahlenforschung (mit Schreiber und Risse), tägl. außer Sonnabend. — **Schulz:** Elastizitätstheorie, 2. — **N. N.:** Allgemeine Meteorologie I, 3; Meteorologisches und geophysikalisches Kolloquium (mit Defant und Bartels), 2 g. — **Bartels:** Einführung in die Geophysik, 2; Angewandte Geophysik, 1; Sonnenflecke und ihr Einfluß auf die Erde, 1 g; Geophysikalische Übungen, 2 g. — **Defant:** Barometrische Höhenmessung, 1; Wellen und Gezeiten (allgemeine Meereskunde III), 2 g. — **Wüst:** Die Ozeane I, 2; Meereskundliche Übungen, $1^1/_2$ g. — **Knoch:** Klimakunde von Deutschland, 1; Anleitung zu meteorologisch-klimatologischen Arbeiten, nach Vereinbarung g. — **Zistler:** Praktische Wetterkunde I, mit Übungen, 2, II, 2. — **Robitzsch:**

Synoptische Bearbeitungsmethoden, 1; Leitung eigener Arbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Kähler:** Die optischen Erscheinungen der Atmosphäre, 1; Übungen aus dem Gebiet der Meteorologie, atmosphärischen Elektrizität und Strahlung, 2, für Fortgeschrittene, tägl. — **Stumpff:** Vektorenrechnung, für Geophysiker, Meteorologen usw., 2. — **Kölzer:** Ausgewählte Kapitel aus der Heereswetterkunde, mit Übungen und Lichtbildern, 2. —

Technische Hochschule Berlin. **Geiger:** Experimentalphysik I, 4; Physikalische Übungen für Fortgeschrittene, nach Vereinbarung; Praktische Arbeiten im Physikalischen Institut, tägl. — **Westphal:** Physikalische Übungen, 4, Ergänzungen, 2. — **Volz:** Optik aller Wellenlängen, 3, Übungen, 2. — **N. N.:** Mechanik I, 3, Übungen, 2. — **Graf:** Mechanik I, 3, Übungen, 2. — **Kömmnick:** Ausgewählte Kapitel der technischen Physik, nach Vereinbarung; Physikalisch-technisches Praktikum, nach Vereinbarung; Experimentalballistik, nach Vereinbarung; Physikalisch-technische Forschungsarbeiten, Dipl.- und Dr.-Arbeiten, tägl. — **Picht:** Einführung in die Theorie der Atomphysik II; Wellenmechanik und Matrizenmechanik, 2. — **Becker:** Ausgewählte Kapitel der Wehrtechnik, 1. — **Schmidt:** Die Messung hoher Temperaturen, 1. — **Hertz:** Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Ramsauer:** Physikalisch-technische Arbeiten, nach Vereinbarung. — **Schachenmeier:** Ausgewählte Probleme der theoretischen Physik, 1; Allgemeine Meßtechnik: Grundlagen und praktische Anwendungen, 2. — **Gehrts:** Wirkungsweise, Bau und Berechnung von Elektronenröhren I, 1; Fernsehen I, 2. — **Wallot:** Einheiten, Maßsysteme, Dimensionen, 1. — **Cauer:** Theorie der Einschwingvorgänge, 1. — **Frerichs:** Die experimentellen Grundlagen der Atomphysik, nach Vereinbarung. — **Engl:** Übersicht über die technischen Verfahren der Untersuchung des Grob- und Feinaufbaus der Festkörper, 1; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Weidert:** Geometrische Optik I, 2, Übungen, 2 g; Seminar für optisches Rechnen I, 2; Theorie und Wirkungsweise der optischen Instrumente I, 2; Übungen im Gebrauch optischer Instrumente I, 4; Optische Laboratoriumsarbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Geometrische Optik für Geodäten, 2; Lichtkundliche Übungen: Lichttechnik, optische Instrumente, Photographie (mit Arndt und Stengel), 2; Optisches Kolloquium (mit Picht), $1^1/_2$. — **Jung:** Einführung in die Geophysik, Geophysikalische Instrumente, 2; Geophysikalische Übungen im Gelände (mit Reich), nach Vereinbarung. — **Koschmieder:** Meteorologische Instrumente, 14tägig, $1^1/_2$. —

Universität Bern. **Greinacher:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Optik, 5, Ergänzungen, 1; Physikalische Optik, 1; Repetitorium der Physik, 1; Physikalisches Kolloquium (mit Gruner), nach Vereinbarung; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Vorgerücktere, 3 halbe Tage; Physikalisches Vollpraktikum, tägl. — **Gruner:** Thermodynamik, 4; Einführung in die Relativitätstheorie, 2; Seminar für theoretische Physik, 2. — **Koestler:** Theorie und Berechnung elektrischer Schwingungskreise, 2; Allgemeine Mechanik mit besonderer Berücksichtigung der Dynamik des materiellen Punktes, 1; Grundlagen zur mathematischen Formulierung naturwissenschaftlicher Probleme, 1. — **König:** Grundlagen der elektrischen Meßtechnik, mit Demonstrationen, 2. —

Universität Bonn. **Füchtbauer:** Experimentalphysik II: Mechanik, Akustik, Optik, 4; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 8, für Mediziner, 4, für Fortgeschrittene, tägl.; Leitung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Weizel, Grebe, Wever, Dreisch, Schmitz und Riezler), 14tägig $1^1/_2$ g. — **Weizel:** Struktur der Materie, 4, Übungen, 1 g; Gasentladungen, 2; Das physikalische Weltbild, 1 g. — **Riezler:** Künstliche Kernumwandlungen, 1. — **Grebe:** Anleitung zu selbständigen Arbeiten aus der medizinischen Physik, tägl.; Besprechungen über Fragen der medizinischen Physik, 1 g. — **Schmitz:** Tonfilm, Bildübertragung und Fernsehen, 2. — **Dreisch:** Meteorologie, 2; Flugtechnik, 1. —

Technische Hochschule Braunschweig. **Cario:** Experimentalphysik I: Elektrizität und Optik, 3, Ergänzungen, 1; Physikalisches Praktikum I und II, 3 und 6, für Pharmazeuten, 3; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 g; Selbständige Arbeiten auf dem Gebiete der Physik, tägl.; Seminar über wissenschaftliche Photographie, 2. — **Bergwitz:** Radioaktivität mit Anwendungen, 1; Physik der Röntgenstrahlen, 1; Radiologisches Praktikum, 1 Nachmittag. — **Hübner:** Grundlagen der technischen Spektroskopie, 1. — **Lübcke:** Technische Elektronik I: Glühkathoden, Elektronenoptik, gesteuerte Elektronenströme, 14tägig, 2, Übungen, 14tägig, 2; Seminar über Bauakustik, 14tägig, 2. — **Stille:** Ausgewählte Kapitel aus der theoretischen Physik, 2, Übungen, 1. —

Universität Breslau. **Schaefer:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Fues, Steubing und Waetzmann), 2; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Bergmann), 3 oder 6, für Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte (mit Bergmann), 3, für Fortgeschrittene (mit Steubing und Bergmann), tägl.; Hydro- und aerodynamisches Praktikum, 3. — **Steubing:** Photographie für Fortgeschrittene, 1; Photographische Übungen für Fortgeschrittene, 3; Seminaristisch-didaktische Übungen (mit Groß), 2; Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht (mit Groß), 2. — **Haude:** Dynamische Klimatologie, 1; Meteorologisches Kolloquium, 14tägig, $1^1/_2$; Übungen zur synoptischen Meteorologie, 2. — **Groß:** Schulphysik I: Ausgewählte Kapitel aus Mechanik, Akustik, Wärme, 1; Großtaten deutscher Technik, 3. — **Fues:** Theoretische Physik VI: Quantentheorie, 4, Übungen, 3; Seminar über ausgewählte Fragen der theoretischen Physik, 2. — **Bergmann:** Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 4. — **Jüttner:** Vektor- und Tensorrechnung und ihre Anwendung in der theoretischen Physik, 2. —

Technische Hochschule Breslau. **Waetzmann:** Experimentalphysik I, 4, Besprechung, 2 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Schuster), 3 und 2, für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Schaefer), 2; Physikalisches Seminar (mit Schuster), 2. — **Fues:** Theoretische Physik VI: Elektrodynamik (Quantentheorie), 3, Übungen, 3; Seminar, 2. — **Groß:** Schulphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 1, Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht, 2; Methodik des Physikunterrichts, 1; Großtaten deutscher Technik mit Experimenten und Besichtigungen, 3. — **Schuster:** Akustische Meßtechnik, 2. —

Technische Hochschule Brünn. **Lohr:** Physikalisches Praktikum, 3; Geometrische Optik, 2. — **Kriso:** Mechanik II: Hydromechanik, 3, Übungen, 1; Elemente der Mechanik, 4. —

Bergakademie Clausthal. **Valentiner:** Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, 4; Ausgewählte Kapitel der Metallphysik, 1 *g*; Wärmewirtschaft I, 1; Physikalisches Praktikum, 3; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Jung:** Allgemeine und angewandte Geophysik II: Erdmagnetismus, magnetische, elektrische und radioaktive Aufschlußmethoden, 1; Geophysikalisches Praktikum, mit Übungen im Gelände, 3. —

Technische Hochschule Danzig. **Buchwald:** Theorie des Lichts, 4, Übungen, 14tägig, 1 *g*; Sonderkapitel der älteren Quantentheorie, 1; Arbeiten für Fortgeschrittene, 12; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene I (mit Kossel), 8; Physikalisches Kolloquium (mit Kossel), 1 *g*. — **Kossel:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Optik, 4, Ergänzungen, 1; Kernphysik I, 1; Kleines physikalisches Praktikum, 4 und 3; Physikalisches Praktikum für Elektrotechniker, 4. — **König:** Atomphysik, 2; Praktisches Rechnen in Naturwissenschaft und Technik, 1; Photographisches Praktikum, 4. — **N. N.:** Demonstrations-Praktikum für Studierende des höheren Lehramtes, 2; Sondergebiete der Physik, 1. —

Technische Hochschule Darmstadt. **Rau:** Experimentalphysik unter besonderer Berücksichtigung der technischen Anwendungen: Elektrostatik, Elektromagnetismus, Strahlungserscheinungen, Atomphysik, 5; Physikalische Übungen, 3 Nachmittage, für Fortgeschrittene, 2 Tage; Physikalisches Seminar, 1; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik, nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium (mit Scherzer und Vieweg), für Fortgeschrittene, 1 *g*. — **Vieweg:** Technische Physik mit praktischer Meßkunde: Ausgewählte Abschnitte aus Mechanik (Messung von Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Druck, Menge usw.) und Elektrizitätslehre (Normalien), 3; Dielektrika, unter besonderer Berücksichtigung der keramischen Isolierstoffe, 1; Übungen in technischer Physik, 6; Arbeiten in technischer Physik, für Fortgeschrittene, 12; Selbständige Arbeiten in technischer Physik, nach Vereinbarung; Seminar über Fragen der technischen Physik, 1. — **Scherzer:** Wellenoptik, 3, Übungen, 2; Einführung in die Methoden der theoretischen Physik, 2; Theoretisch-physikalisches Kolloquium (mit Finkelnburg), 1 *g*; Ausgewählte Fragen der Quantentheorie, 1; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, nach Vereinbarung. — **Stintzing:** Röntgentechnik I, 2, Übungen, 1; Röntgenpraktikum I, 3, II, 6; Selbständige Arbeiten auf dem Röntgengebiet, tägl.; Röntgenseminar, 2 *g*; Röntgenphotographisches Praktikum, 3. — **Finkelnburg:** Atomphysik I, 2; Einführung in die Probleme der Astrophysik, 1. — **Reutlinger:** Geophysik II: Luftelektrizität, Erdmagnetismus, Polarlicht, 1, Übungen, 1; Übungen in praktischer Geophysik: Baugrundforschung, Lagerstättenforschung, 3; Übungen in mechanischer Schwingungsmeßtechnik, 3; Selbständige Arbeiten in Schwingungsmeßtechnik und Apparatebau, nach Vereinbarung; Apparatebau und Bauelemente der feinmechanischen Konstruktion, 1, Übungen, 1; Kolloquium in Apparatebau, 1 *g*. — **Georgii:** Spezielle Flugmeteorologie, 2. — **Mügge:** Grundlagen der Wetterkunde, 1; Allgemeine Klimatologie, 2; Wetterbesprechungen, 2; Synoptisch-aerologische Übungen, 4; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, halbtägig. — **Bramesfeld:** Maschinenzeichnen für Flugmeteorologen, 2, Übungen, 2. —

Technische Hochschule Dresden. **Tomaschek:** Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum I, 3 und 6, II, 9; Praktikum für größere physikalische Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar, 1 *g*. — **Falkenhagen:** Theoretische Physik: Elektrizität und Magnetismus, 14tägig, 3, Übungen, 14tägig, 1; Einführung in die Quantenmechanik, 3; Größere physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Wiedmann:** Röntgenstrahlen I, 1; Röntgentechnische und spektroskopische Übungen, 3 und 6; Selbständige Arbeiten im Röntgenlaboratorium, tägl. — **Teichmann:** Die Struktur des Atoms II, 2; Einführung in die vektorielle Behandlung physikalischer Probleme, 1. — **Fleischer:** Wehrphysik, 1 *g*. — **Frieser:** Grundlagen der Tonphotographie und Tonfilmtechnik, 2, Übungen, 2; Kolloquium über neuere Forschungen auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Photographie, 2 *g*; Photographisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 4; Selbständige Arbeiten im Photographischen Institut, 2, 4, 8, 12, halb- und ganztägig. — **Klughardt:** Sondergebiete der photographischen Optik: Ultrarotphotographie, Stereoskopie, Farbenphotographie, Luftbildwesen usw., 2; Die Strahlengänge in optischen Instrumenten in elementarer Darstellung, 1; Optische Werkstattkunde, 1. — **Joachim:** Grundlagen der Kinematographie, 1 *g*. — **König:** Flugmeteorologie, 1. — **Günther:** Geschichte des mathematisch-physikalischen Unterrichts, dabei Geschichte der Schulmathematik und Schulphysik, 2 *g*; Praktisch-pädagogisches Seminar, 2 *g*. —

Universität Erlangen. **Gudden:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 4, V: Optik, 2; Übungen im Beobachten und Messen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Besprechung physikalischer Tagesfragen (mit Reiger und Rump), 1 *g*. — **Rump:** Strahlenkunde: Elektrische Wellen, Licht-, Röntgen-, Kathoden- und Korpuskularstrahlen und ihre Anwendung in der Heilkunde, 1. — **Reiger:** Elektrotechnische Übungen, 3; Theoretische Physik: Wärme, 4; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Zinner:** 14tägiger Lehrgang auf der Remeis-Sternwarte, *g*. —

Universität Frankfurt a. M. **Czerny:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Madelung), 14tägig, 2 *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 16; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten (mit Dänzer), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Madelung), 14tägig, 2 *g*. — **Madelung:** Optik, 4, Übungen, 1 *g*; Quantentheorie, 1; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Dänzer:** Höhere Experimentalphysik: Atomphysik II, 3; Seminar über Kernphysik (mit Gentner), 14tägig, nach Vereinbarung *g*; Physikalisches Praktikum für Mediziner und Pharmazeuten, 2. — **Gentner:** Experimentelle Kernphysik I, 2. — **Brodersen:** Der photographische Prozeß, 1 *g*; Elektrizitätsleitung in Metallen, 1. — **Seddig:** Physik der Nachrichtenmittel I, 2; Praktikum der angewandten Physik, 3; Kleines elektrotechnisches Praktikum, 3 und 6; Großes elektrotechnisches

Praktikum, halbe Tage; Kolloquium über angewandte Physik, 14tägig 2 g; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Photographisches Praktikum, 4 und 8. — **Rajewsky:** Die photoelektrischen Erscheinungen und ihre technischen und biologischen Anwendungen, $1^1/_2$; Kolloquium über Biophysik und medizinische Physik (mit H. Schaefer), 2 g; Selbständige Arbeiten, ganz- und halbtägig; Biophysikalisches Seminar: Biologische Anwendungen der Atomkernstrahlungen (mit H. Schaefer), 14tägig, nach Vereinbarung g; Biologisches Kolloquium (mit Felix und Külz), $1^1/_4$ g. — **H. Schaefer:** Ultrakurzwellen: Physik, Technik und medizinische Anwendung, 1. — **O. Schäfer:** Wechselstromtechnik I: Allgemeine Grundlagen, darstellende Methoden, einfache Wechselstromkreise, 2; Die Anwendung der Gasentladungen in der Beleuchtungs- und Schalttechnik, 1. — **Linke:** Sonnen- und Himmelsstrahlung, 2; Kosmische Einflüsse auf den Erdmagnetismus, 1 g; Meteorologische Anfängerübungen, 2; Leitung selbständiger Arbeiten, halbtägig. — **Mügge:** Theoretische Meteorologie: Statik und Thermodynamik der Atmosphäre, 2; Wetterbesprechungen, 2 g; Erdmagnetische Meßmethoden, 1. — **Baur:** Großwetter und Weltwetter, 1. —

Universität Freiburg i. Br. **Steinke:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 4. Praktikum, für Mediziner, 4: Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Fortgeschrittene (mit Plötze), 6; Maschinentechnisches Praktikum, 6; Handfertigkeitsübungen für Anfänger, 4; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Mecke), 14tägig, 1 g. — **Plötze:** Höhere Experimentalphysik III: Atom- und Kernphysik, 3 g. — **Hammer:** Elektrizität in Gasen, 1 g. — **Sommermeyer:** Elektronenoptik, 1. — **Loßnitzer:** Wetterkunde, mit besonderer Berücksichtigung von Segelflug und Luftfahrt, 1. — **Mecke:** Einführung in die theoretische Physik, 2; Theoretische Physik IV: Wellenmechanik, Atomphysik, 2, Übungen, 1 g; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. —

Universität Freiburg (Schweiz). **Dessauer:** Experimentalphysik, 5, Ergänzungen, 1, Repetitorium, nach Vereinbarung; Ausgewählte Kapitel aus Biophysik und technischer Physik, 1; Praktikum für Mediziner, 4, für Anfänger, 12, für Fortgeschrittene: Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Brasey:** Wechselstrom (Fortsetzung), 3. — **Huber:** Mathematische Physik: Wärme, 4; Relativitätstheorie, 1. —

Universität Gießen. **Gerthsen:** Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, 4; Positive Strahlen und ihre Anwendung zur Umwandlung der Materie, 2 g; Seminar über moderne experimentalphysikalische Arbeiten, 2; Physikalisches Praktikum (mit Cermak), 6 und 3; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten (mit Cermak), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Bechert und Cermak), 2 g. — **Cermak:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Mechanische und elektrische Schwingungen, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3; Physikalisches Seminar für Lehramtskandidaten, 2; Physikalische Grundlagen der Meteorologie, 1. — **Bechert:** Atomtheorie, mit Übungen, 4; Sonnensystem, Fixsterne, Sternnebel, 1 g; Seminar über moderne Fragen der theoretischen Physik (mit Meixner), 14tägig, $1^1/_2$ g. — **Meixner:** Vektoranalysis, mit Übungen, 3; Einführung in die mathematische Behandlung naturwissenschaftlicher Fragen, 2. — **Lihotzky:** Optik für Photographierende, 1 g. —

Universität Graz. **Schrödinger:** Korpuskularphysik II, 4; Proseminar für theoretische Physik, 1; Seminar für theoretische Physik, 2; Besprechung physikalischer Fragen (mit Heß), 1. — **Heß:** Experimentalphysik II: Hydrodynamik und Wärmelehre, 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Rumpf), 10; Physikalische Übungen für Anfänger I (mit Rumpf), 4, II (mit Priebsch), 6. — **Rumpf:** Einführung in die Experimentalphysik II: Elektrizität und Magnetismus, Radioaktivität, 5, Mathematische Ergänzungen, 1. — **Székely:** Die experimentelle Bestätigung der Wellennatur der Materie, 1. — **Priebsch:** Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiet der Ultrastrahlungsforschung, 1. — **Wegener:** Die Klimate und ihre Wirkung auf Mensch, Tier und Pflanze, 4; Die Klimate der geologischen Vorzeit, 1. —

Technische Hochschule Graz. **Kohlrausch:** Physik III: Elektrizität, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus den Gebieten der chemischen Physik, 20; Physikalisches Praktikum, 6 und 2. —

Universität Greifswald. **Krüger:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl.; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (Kolloquium) (mit Reinkober), $1^1/_2$ g. — **Seeliger:** Einführung in die Mechanik und Hydrodynamik (Kursvorlesung I), 3, Übungen, 14tägig, 2; Seminar für Fortgeschrittene: Ausgewählte Probleme der Gasentladungsphysik, 14tägig, 2 g; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen, tägl. — **Reinkober:** Schwingungsspektren der Moleküle, 1; Physikalische Grundlagen der militärischen Nachrichtenmittel, 1 g; Seminaristische Übungen zur Physik, 2. — **Green:** Englisch für Physiker und Mathematiker, 1. —

Universität Halle. **Kast:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, 4, Ergänzung für Naturwissenschaftler, 1; Dipolmoment und Molekülstruktur, 1; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner, Landwirte und Pharmazeuten, 2; Physikalisch-technische Übungen für Fortgeschrittene, 9; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten (mit Pose), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Smekal), 2 g. — **Smekal:** Wärmelehre, 4, Übungen, 1 g; Sterne und Atome, 1 g; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Rexer:** Physik der organischen Kunststoffe, 1. — **Pose:** Atomspektren, 2; Bandenspektren, 1; Handfertigkeitspraktium, 3. —

Universität Hamburg. **Koch:** Experimentalphysik II: Mechanik, Akustik, Optik, 4; Physikalisches Praktikum (mit Goos, Müller und Meyer), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Tams, Goos und Meyer), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Lenz, Möller und Harteck), 2. — **Lenz:** Thermodynamik, mit Übungen, 4; Quantentheorie (Fortsetzung), 1; Theoretisch-physikalisches Vortragsseminar, 2. — **Goos:** Wirkungsweise und Gebrauch des Mikroskops, 1. — **Knauer:** Elektrochemie, mit Experimenten, 1. — **Meyer:** Erzeugung und Anwendung

der Röntgenstrahlen, 1; Physikalisches Proseminar (mit Knauer und J. Jensen), 2. — **J. Jensen:** Theorie des Atomkerns, 1. — **Müller:** Anleitung zur Ausführung von physikalischen Schulversuchen, 4. — **Möller:** Elektrotechnisches Praktikum, 10; Mechanik und Festigkeitslehre, mit Versuchen, 2, Übungen, 1; Physikalisch-technisches Kolloquium (mit Hagen), 2; Selbständige Arbeiten Fortgeschrittener (mit Hagen), tägl. — **Schott:** Geophysikalisches Kolloquium (mit Raethjen, Kleinschmidt, Schulz, Tams, Kuhlbrodt und Errulat), $1^1/_2$. — **Chr. Jensen:** Die Kondensation des Wasserdampfes als Problem der meteorologischen Optik, 1. — **Tams:** Seminar über die Physik der festen Erde, 14tägig, 2; Seismische Übungen, 2; Theorie und Konstruktion der Seismographen, 2. — **Errulat:** Physik der hohen Atmosphäre, 1. — **Raethjen:** Meteorologische Forschungsarbeiten, tägl.; Thermodynamik der Atmosphäre, 2, Übungen, 14tägig, 2; Meteorologisches Praktikum, 3; Besprechung ausgewählter Probleme aus der synoptisch-dynamischen Meteorologie und Aerologie für Fortgeschrittene, 2; Besprechung meteorologischer Arbeiten, 2. — **Kuhlbrodt:** Allgemeine Klimatologie II, 1. — **Kleinschmidt:** Übungen zur synoptischen Meteorologie, 2. — **Reidat:** Flugmeteorologie, 14tägig, 2, Übungen, 14tägig, 2. — **Seilkopf:** Flugmeteorologie der Ozeane und überseeischen Länder I, 14tägig, 1, Übungen, 14tägig, 1. —

Technische Hochschule Hannover. **Bartels:** Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum I und II, 4, III, 6; Arbeiten im physikalischen Laboratorium für Fortgeschrittene, ganz- und halbtägig; Theorie der Strahlung unter besonderer Berücksichtigung der experimentellen Anwendung, 2. — **Hinzpeter:** Physik für Tierärzte: Elektrizität, Optik, mit Experimenten, 2, Übungen, 3; Die elektrischen Gasentladungen und ihre technischen Anwendungen, 1. — **v. Meyeren:** Einführung in die Atomphysik, 2. — **Schlomka:** Theoretische Optik, 3, Übungen, 2; Geophysik: Erdmagnetismus, Seismik, Erdrotation, 2. — **Seilkopf:** Synoptische Meteorologie: Wetterkunde und Wettervorhersage, 2. — **Hase:** Temperaturmessung, 1; Technisch-physikalisches Praktikum, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im Institut für technische Physik, nach Vereinbarung. — **Kruse:** Hochfrequenzphysik und Hochfrequenztechnik I: Schwingungskreise, Schaltelemente, Kopplungen, Schwingungserzeugung, Sender, 2; Die Elektronenröhre I: Grundlagen, Mehrgitterröhren, 1; Hochfrequenzpraktikum für Fernmeldeingenieure, 4, für Starkstromingenieure, 3; Arbeiten im Hochfrequenzlaboratorium für Fortgeschrittene, halb- und ganztägig, nach Vereinbarung. —

Universität Heidelberg. **Becker:** Experimentalphysik II: Optik, Elektrizität, 4; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner, Zahnmediziner und Pharmazeuten, 3; Physikalisches Großpraktikum und Anleitung zum Experimentieren für Studierende des Lehrfachs, tägl. außer Sonnabend; Selbständige physikalische und physikalisch-technische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Seminar (mit Wesch), $1^1/_2$ g; Geophysikalische Arbeitsmethoden (mit Schlosser), 1. — **Wesch:** Theorie der Optik, mit Übungen, 3; Elektronenoptik, 1; Funktechnik III: Ultrakurze Wellen und Fernsehen, mit Experimenten, 1; Übungen zur Nachrichtentechnik, 2; Selbständige physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Radiologie: Bau der Atome, 2. — **Bothe:** Kolloquium über naturwissenschaftlich-medizinische Arbeiten (mit Kuhn), 14tägig, 1 g. — **Peppler:** Meteorologie II: Atmosphärische Störungen, 2. — **Bohrmann:** Übungen zur praktischen Meteorologie, 14tägig, 2. —

Universität Innsbruck. **Lerch:** Experimentalphysik II, 5; Physikalisches Praktikum (mit Tagger), 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener (mit Steinmaurer), 10. — **March:** Theorie des Elektrons, 3; Optik, 2; Seminarübungen, 2. — **Sonvico:** Meßtechnik, 2 g. — **Steinmaurer:** Wellenlehre und Optik II, 2; Radioaktivität, 1. — **Oberguggenberger:** Astronomisch-geographische Ortsbestimmung, 5, Übungen, 5. — **Wagner:** Einführung in die Geophysik, 5; Wissenschaftliche Arbeiten Fortgeschrittener, 10. — **Ekhart:** Die Aerologie im Dienste der modernen Wetteranalyse, 1. —

Universität Jena. **Kulenkampff:** Experimentalphysik II: Elektrizitätslehre, Atomphysik, 4; Physikalisches Praktikum, für Mathematiker und Physiker (mit Wißhak), 6, für Chemiker und Pharmazeuten, 4, kleines Praktikum, $2^1/_2$, für Fortgeschrittene (mit Raether), 10; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten (mit Hettner, Wessel, Wißhak, Raether), tägl.; Besprechung von Arbeiten aus dem Physikalischen Institut (mit Hettner), 14tägig, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Esau, Kühl und Hettner), 2 g. — **Hettner:** Theorie der Wärme (mit Wessel), mit Übungen, 4; Atommechanik II: Wellenmechanik, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar für Fortgeschrittene (mit Wessel), 1 g; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Wessel:** Optische Effekte, 2; Vektorenrechnung, 2. — **Wißhak:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene I: Mechanik, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Raether:** Die Herstellung hoher elektrischer Spannungen und ihre Anwendungen, 1. — **Esau:** Wechselstromtechnik mit Einschluß der Hochspannungstechnik, 3; Technisch-physikalisches Praktikum, 3; Großes technisch-physikalisches Praktikum, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Kühl:** Physiologische Optik, 3; Seminar, 14tägig, 2 g; Einführung in Gebrauch und Theorie des Mikroskops, 1; Praktikum der optischen Untersuchungsmethoden, 4; Mikroskopisches Praktikum, 2; Leitung selbständiger Arbeiten, tägl. — **Siedentopf:** Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie, 1. — **Rzymkowski:** Photographisches Praktikum, 3. — **Sieberg:** Mechanik der Erdrinde, 1 g; Erdbebenkundlich-bodenmechanisches Praktikum, nach Vereinbarung g; Erdbebenkundlich-bodenmechanisches Kolloquium, g; Anleitung zu selbständigen erdbebenkundlich-bodenmechanischen Arbeiten, tägl. g. — **Meißer:** Das Schwerefeld der Erde und die gravimetrischen Verfahren, 1 g; Geophysikalisches Praktikum: a) Einführung in die Instrumentenkunde der angewandten Geophysik (mit M. Müller und Martin), 2, b) Allgemeine geophysikalische Untersuchungsmethoden (mit M. Müller und Martin), 2; Anleitung zu selbständigen geophysikalischen Arbeiten, tägl. g. — **M. Müller:** Erdmagnetismus, 1 g. — **Martin:** Experimentelle Seismik, 1 g. — **Siedentopf:** Physik der Sonne, 2; Zeit- und Ortsbestimmung, mit Übungen, 3; Astronomisches Kolloquium, 2 g; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. g; Praktische Meteorologie, 1; Meteorologische Übungen, 2. —

Technische Hochschule Karlsruhe. **Bühl:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 5 und 3; Kleines Physikalisches Praktikum für Physiker und Chemiker, 6; Physikalisches Praktikum für Physiker, 8 und 3, Oberstufe (mit Volkmann), halbtägig; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium (mit Wolf und Volkmann), 14tägig, 1 g. — **Wolf:** Theoretische Physik: Optik, 3; Atomistik der elektrischen Erscheinungen, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar, 1 g; Zeitschriftenkolloquium, 1 g; Physikalisches Praktikum: Oberstufe, halbtägig; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, nach Vereinbarung. — **Volkmann:** Technische Optik, 2; Grundlagen zur praktischen physikalischen Arbeit, 1. — **Quade:** Theorie der Wechselströme: Mehrphasensysteme, Ortskurven, mit Übungen, 3. — **Peppler:** Allgemeine Meteorologie: Energiequellen, Temperatur, Druck, Wasserdampf, für Berufsmeteorologen, 3; Grundlagen der Meteorologie, 2 g; Meteorologie für Flieger, 1 g; Meteorologische Übungen, 2. —

Universität Kiel. **Kopfermann:** Experimentalphysik: Elektrizität, 4, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4 oder ganztägig, für Fortgeschrittene, 4 oder ganztägig; Forschungsarbeiten, tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Seminar: Kernphysik (mit Unsöld und Lochte-Holtgreven), 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Unsöld und Lochte-Holtgreven), $1^1/_2$ g. — **Lochte-Holtgreven:** Einführung in die Atomtheorie, mit Experimenten, 2. — **Unsöld:** Hydro- und Aerodynamik, mit Anwendungen, 4; Einführung in die Vektorrechnung, mit Übungen, nach Vereinbarung. — **Büttner:** Einführung in die Meteorologie, 2; Sicht und Aerosol, 1; Meteorologisches Kolloquium, 14tägig, 2 g. —

Universität Köln. **Kirchner:** Experimentalphysik II: Akustik, Wärme, Optik, 4, Ergänzungen, 1; Physikalisches Praktikum (mit Hiedemann), 7, für Mediziner, 4, für Fortgeschrittene (mit Försterling und Malsch), 7; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar, 2 g; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Försterling, Malsch und Cremer), 2 g. — **Försterling:** Quantentheorie, 4; Wissenschaftliche Arbeiten für theoretische Physik, tägl. g. — **Cremer:** Übungen zur Quantentheorie, 1; Differentialgleichungen der Physik, 2. — **Malsch:** Theorie und Technik der Wechselströme, mit Übungen, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Hiedemann:** Ausgewählte Kapitel der Akustik, 1. — **Berg:** Ausgewählte Probleme der Meteorologie, 1; Synoptische Meteorologie, einschließlich Flugmeteorologie, 1; Meteorologische Übungen, 2. —

Universität Leipzig. **Hoffmann:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Licht, 5; Höhere Physik, 1; Physikalisches Praktikum, 3, 6 und 9, für Fortgeschrittene, 3; Selbständige physikalische Arbeiten, 24 oder 44, für Mediziner usw., 3; Seminar über die Arbeiten des Instituts, nach Vereinbarung g; Physikalisches Kolloquium (mit Heisenberg), $1^1/_2$ g. — **Heisenberg:** Theoretische Physik IV: Optik, 3, Übungen, 1; Seminar über die Struktur der Materie (mit Hund), 2 g; Selbständige theoretisch-physikalische Arbeiten (mit Hund), 24. — **Hund:** Einführung in die Atomistik, 3. — **Schiller:** Elastizität und Festigkeit, 2; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 9; Selbständige physikalische Arbeiten: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 24 oder 44; Besprechung neuerer Arbeiten der Hydro-, Aero- und Thermodynamik, 14tägig, 2 g. — **Karolus:** Bildübertragung und Fernsehen, 2, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Elektrizitätslehre, 9; Selbständige physikalische Arbeiten: Angewandte Elektrizitätslehre, 24 oder 44; Besprechung neuerer Arbeiten, nach Vereinbarung g. — **Möbius:** Physikalische Schulversuche (Praktikum), 3; Experimentelle Kernphysik, 1. — **Kaempf:** Repetitorium der Physik, 2. — **Weickmann:** Wellen in elastischen Medien, mit Anwendung auf seismische hydrographische und meteorologische Fragen, 2; Allgemeine Meteorologie I, 2; Arbeiten im Geophysikalischen Institut und im Observatorium, tägl. g; Geophysikalisches Praktikum: Erdmagnetismus, 3; Geophysikalisches Kolloquium, 2 g. — **Lettau:** Erdmagnetismus und Polarlicht, 2. —

Universität Marburg. **Grüneisen:** Experimentalphysik II, 4, Theoretische Ergänzungen, 1 g; Physikalisches Kolloquium, 2 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Kneser und Vogt), für Mediziner und Pharmazeuten, 3, für Fortgeschrittene (mit Kneser und Vogt), 8, für Geübte: Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Kneser und Vogt), tägl. — **Kneser:** Atomphysik: Die Spektren der Atome und Moleküle, 2. — **Vogt:** Physik des Fluges und Schusses, mit Versuchen, 2. — **Hückel:** Mechanik deformierbarer Körper, $1^1/_2$; Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 4, Übungen, 2. —

Universität München. **Gerlach:** Allgemeine Physik II: Optik, Magnetismus und Elektrizität, mit Versuchen, 4, Ergänzungen, 1; Physikalische Übungen für Anfänger a und b, 4, Ergänzungskurs c, 4, für Pharmazeuten, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Rüchardt), tägl.; Übungen für Fortgeschrittene (mit Rüchardt), tägl.; Physikalisches Seminar (mit Rüchardt), $1^1/_2$. — **Sommerfeld:** Partielle Differentialgleichungen der Physik, 4, Übungen, 2; Seminar (mit Maue), 2; Ausgewählte Fragen der Wellenmechanik, 1 g. — **Rüchardt:** Höhere Physik I: Strömungslehre der Flüssigkeiten und Gase, 3. — **Maue:** Elektrodynamik, 4, Übungen, 2. — **Auer:** Metallphysik: Magnetismus und Metalloptik, 1; Besprechung metallkundlicher Fragen, 1. — **Schmauß:** Wetterkunde II: Dynamik der Atmosphäre, 4, Ergänzungen, 1; Besprechungen für Fortgeschrittene (mit Schneider), 14tägig, 2; Aerologie (mit Findeisen), 2. — **Schneider:** Wirbelstürme der Tropen und Subtropen, 1. —

Technische Hochschule München. **Zenneck:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 4 oder 8, für Fortgeschrittene (mit v. Angerer), halbtägig; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten (mit Goubau), tägl. — **Frank:** Experimentalphysik II: Elektrizität II, Optik, 3; Angewandte Physik, einschließlich Elektrotechnik II, 1, Übungen, 2; Physikalische Übungen für Landwirte, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus Physik, tägl. — **Meißner:** Technische Physik I: Anwendungen der Thermodynamik, 3; Technisch-physikalisches Prak-

tikum, 4; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der technischen Physik, tägl. — **Ammann:** Kinematographie II, mit Vorführungen, 1. — **v. Angerer:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene II: Festigkeitslehre, Wärmelehre, Physik und Technik des Hochvakuums, 2. — **Goubau:** Physik der Gasentladungen, 1. — **Huber:** Klimaschwankungen, 1; Der Mensch in seiner Abhängigkeit von Wetter und Klima, 1. —

Universität Münster. Senftleben: Experimentalphysik für Mediziner, 5; Atomphysik, 2; Physikalisches Praktikum, 3 oder 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3, Physikalisches Praktikum, ganz- oder halbtägig; Physikalisches Kolloquium (mit Kratzer), 2 g. — **Kratzer:** Thermodynamik, mit Übungen, 6; Elektronentheorie, 3; Theoretisch-physikalisches Seminar, 14tägig, 2 g. — **Siemens:** Grundzüge der Starkstromtechnik, 2 g. — **Durau:** Physik des Elektrons, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Physik der Oberfläche, 2. —

Universität Prag. Fürth: Experimentalphysik II, 5, Ergänzungen, 2; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Freundlich, Fürth, Blüh, Glaser und Sitte), 2. — **Frank:** Die physikalischen Theorien über den Aufbau der Materie, 5; Seminar für theoretische Physik, 2. — **Blüh:** Höhere Experimentalphysik II: Physik der Strahlung, 2; Optische Instrumente, 1; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Seminar über Fragen des Physikunterrichts an Mittelschulen, 2. — **Sitte:** Einführung in die theoretische Physik II, 5, Übungen, 2; Radioaktivität, 2; Seminar über elementare Quantentheorie, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Pollak:** Luftelektrizität, 3; Geophysik im Kriege, 1; Geophysikalisches Praktikum, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Praktische Übungen mit Instrumenten für geographische Forschungsreisen und Exkursionen, 6. —

Technische Hochschule Prag. N. N.: Physik: Reine Mechanik, 5; Physikalisches Praktikum, 3 und 6; Technische Physik, 3. — **Lichtenecker:** Grundzüge der theoretischen Physik: Astrophysik, 2. — **Körner:** Allgemeine Wärmelehre, 2. — **Swoboda:** Meteorologie und Klimatologie, 3, Meteorologisches Praktikum, 1. —

Universität Rostock. Kunze: Experimentalphysik I, 3; Ausgewählte Teilgebiete der Physik, 1; Physikalische Übungen für Mediziner und Pharmazeuten, 2, für Naturwissenschaftler, 4; Seminar (Physikalisches Kolloquium) (mit Jordan), 14tägig, $1^1/_2$ g; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Jordan:** Mathematisches und ballistisches Vortragsseminar (mit Furch), 2; Fortschritte der Quantentheorie, 2; Elektrodynamik, mit Übungen, 4. — **Falckenberg:** Meteorologisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, tägl.; Navigation, praktische Übungen auf der Ostsee, nach Vereinbarung. —

Technische Hochschule Stuttgart. Schmidt: Grundlagen der Physik II: Elektrizitätslehre und Optik, 4; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 3–6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Lenz), tägl.; Physikalisches Seminar für Fortgeschrittene, 2 g; Physikalisches Kolloquium (Besprechung neuerer Arbeiten mit (Glocker, Reiher, Dehlinger, Hönl und Lenz), 14tägig, $1^1/_2$ g. — **Lenz:** Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittenere, 3–6; Gasentladung und elektrische Festigkeit, 2. — **Kramer:** Einführung in die wissenschaftliche Photographie, Übungen, 3. — **Dehlinger:** Theoretische Physik III, 4; Theoretikum in Physik (mit Hönl), 3; Seminar über Atomphysik (mit Hönl), 2; Anleitung zu Arbeiten auf dem Gebiete der theoretischen Physik (mit Hönl), nach Vereinbarung, Aufbau und Technologie kristalliner Stoffe: Faserstoffe, 2. — **Glocker:** Röntgenpraktikum für Anfänger, 3, für Fortgeschrittene, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Röntgenlaboratorium, tägl.; Materialprüfung mittels Röntgenstrahlen, 1, Übungen, 3. — **Reiher:** Technisch-physikalische Meßmethoden I und II, 2, Übungen, 3; Technisch-physikalische Sondergebiete: Schall und Schwingungstechnik, 2, Übungen, 3; Wehrphysik, 2; Technisch-physikalisches Seminar, Unterstufe, 14tägig, 2 g, Oberstufe, 14tägig, 2 g; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Institut für Technische Physik, tägl. — **Peppler:** Einführung in die Meteorologie, 14tägig, 1. —

Universität Wien. Meyer: Die radioaktiven Substanzen (natürliche und künstliche), 3; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener im Radiuminstitut, tägl.; Radioaktives Praktikum (mit Przibram), 3; Besprechung neuerer Arbeiten, 1 g. — **Ehrenhaft:** Experimentalphysik II, 5, Demonstrationsergänzungen, 1; Seminar, 1; Physikalische Übungen für Anfänger, 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Schweidler:** Experimentalphysik II, 5, Demonstrationsergänzungen, 1; Mittelschul-Experimentierpraktikum, 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Thirring:** Theorie der Elektrizität II, 5; Seminar für theoretische Physik, 1, Proseminar, 1. — **Haschek:** Experimentalphysik II, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 6, für Vorgeschrittene, 10; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Kottler:** Elemente der theoretischen Physik II, 5; Übungen aus theoretischer Physik, 1. — **Przibram:** Physik II: Wärme und Molekularphysik, 5. — **Schrödinger:** Das kosmische Problem der Quantenmechanik, 1. — **Kirsch:** Atombau II: Kernphysik, 3; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl.; Einführung in wissenschaftliche Arbeiten (mit Stetter und Mattauch), tägl. — **Stetter:** Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Ettenreich:** Physik der Radio-Kurzwellen, 1. — **Mattauch:** Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Sexl:** Wärmeleitung und Diffusion, 2. — **Mache:** Temperaturmessung, 2. — **Sirk:** Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 3, Übungen, 2. — **Hauer:** Repetitorium der Physik für Mediziner, 2; Anleitung zu Arbeiten aus medizinischer Physik und Laboratoriumstechnik, 3. — **Bauer:** Die Serienspektren und das periodische System der Elemente, 2; Theorie des Zeeman-Effektes, 1. — **Ortner:** Kernreaktionen, 1. — **Seidl:** Ultraschall, 2. — **Ludloff:** Wellenmechanik II, 2. — **Karlik:** Physikalische Probleme bei der Verwendung des Radiums in der Medizin, 1. — **Schober:** Farbenlehre und Farbenmessung, 2. — **Ficker:** Synoptische Meteorologie: Wettervorhersage, 2; Meteorologische Übungen, 2;

Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Schedler:** Wärmehaushalt der obersten Bodenschichten, 1. — **Lauscher:** Meteorologische Strahlungskunde, 2. —

Technische Hochschule Wien. **Mache:** Physik: Optik, Wärmelehre, 5; Wärmelehre, 5; Temperaturmessung (Spezialvorlesung aus Physik), 2; Physikalisches Praktikum I, 8, II (mit Aigner und Petritsch), 30; für technische Chemiker, 4, für Feuerungs- und Gastechniker, 4. — **Flamm:** Physik: Wärmetheorie, 5; Theorie der Elektrizität, 3; Partielle Differentialgleichungen der Physik, 3; Physikalische Rechenübungen, 1; Physikalisches Seminar, 1. — **Aigner:** Physik, 3; Physik: Raumakustik, 2; Hochfrequenzphysik, Elektroakustik und Elektrooptik: Tonfilm und Fernsehen, 3. — **Ettenreich:** Physik der Kurzwellen, 1. — **Bauer:** Die Serienspektren und das periodische System der Elemente, 2; Theorie des Zeeman-Effektes, 1. — **Regler:** Das Laueverfahren und seine Anwendung, 1. — **Schober:** Farbenlehre und Farbenmessung VI, 2. — **Mader:** Praktische Geophysik, 1. —

Universität Würzburg. **Harms:** Experimentalphysik II: Optik und Wärme, 4; Experimentalphysik für Fortgeschrittene, 2; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Mathematiker (mit Döpel), 3 und 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Praktikum für Fortgeschrittene (mit Döpel), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Döpel), tägl. — **Ott:** Thermodynamik und kinetische Theorie der Wärme, 4, Übungen, 1; Diffusion und Wärmeleitung, 2. — **Döpel:** Experimentelle Grundlagen der Quantentheorie, 1. —

Universität Zürich. **Meyer:** Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, 5, Ergänzungen, 1; Physikalisches Praktikum, für Anfänger, $3^1/_2$, für Vorgerücktere, halbtägig; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Seminar über Experimentalphysik (mit Bär und Zuber), 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Wentzel und Bär), 2 g. — **Wentzel:** Quantentheorie, 4, Übungen, 1; Einführung in die theoretische Physik, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar (mit Stueckelberg), 2 g. — **Bär:** Kristalloptik, 1. — **Ratnowsky:** Vektoranalysis, 2. — **Zuber:** Ausgewählte Kapitel des Magnetismus, 1; Repetitorium der Experimentalphysik, 1. —

Technische Hochschule Zürich. **Scherrer:** Physik II, 4, Repetitorium, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, 6, 8, für Fortgeschrittene, 8, 12, 24; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12, 24; Seminar über Atomphysik, 2; Seminar über elektrische Eigenschaften fester Körper, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Pauli), 2. — **Pauli:** Elektrodynamik, 3, Übungen, 1; Theorie der Metalle und des festen Körpers, 2; Selbständige Arbeiten in theoretischer Physik, 8, 12, 24. — **Tank:** Experimentalphysik: Optik, Wärmelehre, 3, Übungen, 1; Hochfrequenztechnik I, 2; Praktikum, 4, 8, 12; Selbständige Arbeiten auf dem Gebiete der Hochfrequenztechnik, 8, 12, 24; Diplomarbeiten in Hochfrequenztechnik. — **Fischer:** Gasentladungen, 2; Leitung selbständiger Arbeiten, tägl. — **Amberg:** Allgemeine Didaktik des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts an der Mittelschule, 2. — **E. Brandenberger:** Die Röntgenstrahlen in Chemie und Technik: Angewandte Feinstrukturuntersuchung, 1. — **Busch:** Kurs in Glasblasen und Feinmechanik, für Physiker, 2. — **Herzog:** Spektren II, 2. — **Lugeon:** Übungen zur allgemeinen Meteorologie mit Rücksicht auf das Flugwesen, 2. — **Oßwald:** Leitung selbständiger Arbeiten im Laboratorium für Akustik, tägl. — **Ott:** Gasanalyse, 1. — **Rüst:** Photographie II, 1; Photographische Fragestunde, 1; Photographisches Praktikum, 2; Photographisches Vollpraktikum, tägl. — **Sänger:** Molekulareigenschaften nach der Wellenmechanik, 2. —

NACHRICHTEN

Der **Verband Deutscher Elektrotechniker** hält seine diesjährige Mitgliederversammlung vom 22. bis 25. Mai in Köln ab. Der wissenschaftliche Teil der Tagung umfaßt in 15 Fachgruppen 60 Vorträge, die Neuerungen und Fortschritte der Elektrotechnik bekanntmachen. Den Festvortrag über „Die Elektrotechnik in industriellen Anlagen" hat Direktor Dr.-Ing. e. h. Rudolf Bingel übernommen.

Habilitiert: An der Universität Leipzig Dr. Walter Poethke für pharmazeutische Chemie, an der Universität Berlin Dr. Hermann Hinderer für Experimentalphysik, an der Universität Bonn Dr. Heinrich Helberger für chemische Technologie, an der Universität Heidelberg Dr. Rudolf Fleischmann für Physik, an der Technischen Hochschule Berlin Dr. Wilhelm Hofmann für Röntgen-Strukturuntersuchungen.

Ernannt: Der wissenschaftliche Mitarbeiter der Firma Carl Zeiß Lehrbeauftragter für Optik der Medizin an der Universität Jena Dr. Hans Hartinger zum Honorarprofessor daselbst, der Oberstudiendirektor Dozent für angewandte Mathematik an der Technischen Hochschule Dresden Dr. Alfred Kneschke zum a. o. Professor daselbst, der Dozent an der Universität Leipzig Regierungsrat Professor Dr. Felix Burkhardt zum a. o. Professor für Versicherungsmathematik ebenda, der Dozent für Mineralogie, Petrographie und Geochemie an der Universität Leipzig Dr. Ernst Kordes zum a. o. Professor daselbst, der a. o. Professor an der Universität Kiel Dr. Lothar Wolf zum ord. Professor für physikalische Chemie an der Universität Halle, Dr.-Ing. Hermann Schlichting in Friedrichshafen zum ord. Professor für Maschinenwesen, insbesondere Flugmechanik an der Technischen Hochschule Braunschweig, der a. o. Professor an der Universität Berlin Dr. Marianus Czerny zum ord. Professor der Experimentalphysik an der Universität Frankfurt a. M., der Dozent an der Universität Erlangen Dr. Alwin Merwsoben zum a. o. Professor für anorganische und analytische Chemie.

Ehrung: Dem ord. Professor der theoretischen Physik an der Universität Paris Prinz Louis Victor de Broglie die Max-Planck-Medaille der Deutschen Physikalischen Gesellschaft verliehen.

Verantwortlicher Schriftleiter: Professor Dr. Dr. h. c. P. Debye, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — D. A. 1330. IV. Vj. 1937. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany